This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

University of Wisconsin
LIBRARY.
No. 22883
SVB
.D24

RECHERCHES

HYDRAULIQUES

EXTRAIT DU TOME XIX

DES MÉMOIRES PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

À L'INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE

DUNOD, ÉDITEUR,

PRÉCÉDEMMENT CARILIAN-GŒURY ET Vve DALMONT,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, 49.

RECHERCHES
HYDRAULIQUES

ENTREPRISES

PAR M. H. DARCY

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

CONTINUÉES

PAR M. H. BAZIN

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

PREMIÈRE PARTIE

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR L'ÉCOULEMENT DE L'EAU
DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS

PARIS

IMPRIMERIE IMPÉRIALE

M DCCC LXV

6492501

SVB
D24

RAPPORT

FAIT

A L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

DANS SES SÉANCES DES 27 JUILLET ET 3 AOÛT 1863,

SUR UN MÉMOIRE DE M. BAZIN,

SUR

LE MOUVEMENT DE L'EAU

DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

COMMISSAIRES :

MM. Dupin, Poncelet, Combes, Clapeyron, Morin, rapporteur.

Les ingénieurs qui s'occupent du mouvement de l'eau dans les canaux et les tuyaux de conduite ont, depuis assez longtemps déjà, reconnu que les formules déduites par Prony d'un nombre restreint d'expériences faites dans des circonstances peu comparables n'étaient applicables qu'à certains cas.

D'une part, leur forme assez compliquée en rend l'application un peu longue, malgré l'usage des tables calculées pour la faciliter, et, de l'autre, l'influence de la nature des parois, dont ces formules font abstraction, a été trop nettement constatée par les belles recherches de feu M. Darcy sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite, pour qu'il ne fût pas devenu nécessaire d'entreprendre des études analogues pour reconnaître, s'il était possible, les lois de cette même influence sur le mouvement de l'eau dans les canaux.

Aussi, dès l'année 1854, dans un rapport approuvé par l'Académie sur les premiers travaux de M. Darcy, relatifs aux tuyaux de conduite, avions-nous appelé l'intérêt de la Compagnie et la bienveillance du Gouvernement sur les recherches que ce savant ingénieur avait déjà entreprises et se proposait de poursuivre sur cette question.

Ni l'appui du Ministre des travaux publics, ni le concours d'ingénieurs habiles et dévoués à la science n'ont manqué à M. Darcy. Les ressources nécessaires avaient été mises à sa disposition; M. Baumgarten, ingénieur en chef des ponts et chaussées, lui avait prêté l'aide d'une longue expérience acquise dans les travaux du Rhin; M. Ritter, alors ingénieur ordinaire attaché au service hydraulique de la Côte-d'Or, l'avait assisté de son dévouement. Mais M. Darcy n'avait pas mesuré l'étendue de la tâche qu'il s'était imposée aux forces qui lui restaient après de longs travaux. D'une autre part, M. Baumgarten et M. Ritter, appelés par les exigences du service à d'autres destinations, avaient été séparés de M. Darcy en 1856, au moment où, les préparatifs préliminaires étant achevés, les expériences allaient commencer.

Il était réservé à M. Bazin, que M. Darcy s'était adjoint dès cette époque, de le seconder d'abord, et plus tard, après sa mort si regrettable, survenue en 1858, de réunir, de compléter et de discuter les résultats de tant de nombreuses et délicates expériences, et d'en déduire, pour l'art de l'ingénieur, les conséquences importantes auxquelles elles conduisent.

Le travail dont nous avons à rendre compte à l'Académie est donc l'œuvre de plusieurs ingénieurs. Il a été conçu, organisé, commencé par M. Darcy, poursuivi sous sa direction jusqu'à sa mort; mais l'exécution d'une très-grande partie des expériences, la discussion de leurs résultats, ainsi que les déductions scientifiques qui en découlent, et qui sont exposées dans le Mémoire de M. Bazin avec une remarquable lucidité, doivent être considérées comme appartenant en propre à cet ingénieur.

Le Mémoire que M. Bazin soumet au jugement de l'Académie est partagé en quatre sections principales ayant pour objet :

1° Les expériences sur les canaux à régime uniforme;

2° Les expériences sur la distribution des vitesses dans les courants;

3° Les expériences sur le mouvement varié;

4° Les expériences sur le mouvement des ondes.

L'étendue considérable de ces recherches, qui sont contenues et discutées dans quatre volumes manuscrits in-folio, accompagnés de quarante planches parfaitement exécutées par M. Chapuis, conducteur des Ponts et Chaussées, nous a obligés à en partager l'examen entre deux membres de la Commission, qui ont l'honneur de soumettre à l'Académie les rapports partiels dont nous allons lui faire connaître le premier, principalement relatif au mouvement de l'eau dans les canaux à régime uniforme.

DU MOUVEMENT UNIFORME DE L'EAU DANS LES CANAUX.

Avant d'analyser la partie principale de ce long ensemble de recherches qui, commencé en 1855, n'a été terminé qu'en 1862, il est nécessaire de dire quelques mots des dispositions prises pour assurer l'exactitude des résultats observés et des conséquences qu'il est permis d'en déduire.

Dispositions générales. — Pour l'exécution des expériences, et afin de leur donner un caractère tout à fait pratique, comparable à celui des circonstances où l'on pourrait avoir à se servir des règles que l'on espérait en déduire, M. Darcy avait fait établir au bief n° 57 du canal de Bourgogne une rigole de $596^{m},50$ de longueur, qui, après avoir suivi parallèlement ce canal sur 450 mètres, se détournait à gauche pour verser dans la rivière d'Ouche les eaux qu'elle avait empruntées au canal. Cette rigole, dont les parois étaient revêtues en planches de peuplier, convenablement maintenues par des cadres, avait dans œuvre 2 mètres de largeur sur $0^{m},95$ de profondeur. Elle était enveloppée à l'extérieur par un corroi à très-peu près imperméable, et ses dimensions intérieures ont permis d'y installer de faux planchers pour opérer sur des pentes diverses et des profils variés, selon les formes que l'on se proposait d'étudier.

Prise d'eau. — L'eau que l'on voulait faire couler dans cette rigole était, à l'origine, simplement empruntée au canal, à 157 mètres en aval de l'écluse n° 56, au moyen d'un vannage à quatre ouvertures de 1 mètre de largeur, pouvant avoir $0^{m},40$ de hauteur; mais l'observation ne tarda pas à montrer que, pour obtenir un écoulement régulier et normal de l'eau dans la rigole, il était nécessaire d'établir, entre le vannage et cette rigole, un bassin ou un bief de distribution particu-

lier, terminé par un barrage muni d'orifices plus petits et plus nombreux.

C'est ce qui conduisit M. Darcy à faire construire un deuxième barrage percé de douze orifices de $0^m,20$ sur $0^m,20$, avec encadrements et ventelles en cuivre, se rapprochant autant que possible des formes et des proportions des orifices à contraction complète, si bien étudiés par MM. Poncelet et Lesbros, dans leurs belles recherches sur l'écoulement de l'eau.

Mais nous devons dire de suite que les dispositions locales et le rapprochement des orifices ayant occasionné quelques différences dans la valeur des coefficients de la dépense, on a été obligé de se livrer à des expériences spéciales, très-utiles d'ailleurs, pour déterminer les valeurs particulières qu'il convenait de leur attribuer dans chacun des cas variés qui se sont présentés.

Ces expériences étaient rendues faciles, et l'exactitude de leurs résultats ne pouvait rien laisser à désirer, attendu que la grande étendue de la rigole régulière, dans laquelle les eaux pouvaient être reçues, permettait de déterminer exactement le volume d'eau qui y avait afflué.

Outre l'usage ultérieur qui a été fait de ces résultats pour les recherches spéciales qui sont l'objet du Mémoire, elles ont donc pu fournir des données utiles à l'art de l'ingénieur, quant à l'écoulement de l'eau par des vannages accolés plus ou moins nombreux.

Moyens employés pour déterminer la vitesse en différents points d'une même section. — L'étude de la distribution des vitesses dans les différentes parties d'une même section faite dans un courant est l'une des questions les plus délicates et les plus controversées de l'hydraulique, et sa solution ne pouvant être obtenue que par l'expérience, la recherche des instruments à employer présente une grande importance. Aussi a-t-elle depuis longtemps occupé les hydrauliciens. Il était réservé à feu M. Darcy d'arriver, par des perfectionnements bien conçus et bien étudiés, à rendre d'un usage commode et sûr l'appareil connu sous le nom de *tube de Pitot*, qui, jusqu'à lui, n'inspirait qu'une médiocre confiance aux observateurs.

On sait que c'est en 1732 que Pitot présenta à l'Académie des sciences l'appareil qui porte son nom, et qui « consistait en une longue tringle « en bois de section triangulaire, dans l'une des faces de laquelle étaient

« logés deux tubes en verre. L'un de ces tubes était horizontalement « recourbé à son extrémité inférieure; l'autre, au contraire, descendait « verticalement jusqu'au niveau de la partie recourbée du premier. »

L'opinion de Pitot était que son appareil, exposé au courant de l'eau, donnerait, par la différence de niveau existant entre les deux colonnes d'eau logées dans les deux tubes, la hauteur due à la vitesse du fluide au point que l'on considérait, et qu'il serait facile, dès lors, de déduire la vitesse cherchée au moyen de la relation $V^2 = 2gh$, h étant la différence observée.

L'idée était simple et ingénieuse; mais, malgré les tentatives de Dubuat et de plusieurs expérimentateurs, diverses circonstances s'étaient opposées jusqu'ici à ce que l'on en déduisît un moyen commode et suffisamment sûr de déterminer la vitesse des différents filets fluides d'une même section. Il était réservé à M. Darcy de les faire disparaître par un ensemble de dispositions ingénieuses, auxquelles il a été conduit par des considérations développées dans son Mémoire sur le *Mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite*, auquel nous renverrons aussi pour la description de l'instrument.

D'après ces considérations, l'élévation h' du niveau dans le premier des deux tubes qu'il employait et la dénivellation h'' dans le second, par rapport au niveau général du courant, donneraient, par leur somme $h' + h''$ introduite dans la formule

$$V = \mu \sqrt{2\,g\,(h' + h'')}$$

la vitesse des filets fluides à l'extrémité du tube horizontal, si l'on connaissait le coefficient μ par une tare préalable de l'instrument.

Tels sont la formule et les moyens employés par M. Darcy; mais il y a ajouté d'autres dispositions ingénieuses, qui rendent les observations plus faciles et plus sûres. On les trouvera décrites dans le Mémoire de M. Bazin.

Tare du tube jaugeur. — Après les indications que nous venons de donner des perfectionnements apportés au tube de Pitot par M. Darcy, il est nécessaire de justifier la confiance que lui et ses collaborateurs ont ajoutée aux indications qu'il leur a fournies pour leurs importantes expériences, en faisant connaître les différents procédés qu'ils ont employés pour les vérifier.

A cet effet, ils ont procédé au tarage de cet instrument de trois manières différentes :

1° En mesurant, à l'aide de flotteurs, la vitesse superficielle d'un courant et en comparant les résultats obtenus aux indications du tube;

2° En faisant mouvoir l'instrument avec une vitesse connue dans une eau tranquille;

3° En mesurant, à l'aide du tube, la vitesse en un grand nombre de points de la section transversale d'un courant, et en comparant ensuite la valeur du débit connu à l'avance avec les indications de l'instrument.

Ces trois modes de tare, complétement indépendants les uns des autres, ont donné pour le coefficient μ de la formule :

Le premier,	moyenne de 92 expériences....	$\mu = 1{,}007$
Le deuxième,	moyenne de 32 expériences....	$\mu = 1{,}034$
Le troisième,	moyenne de 31 expériences....	$\mu = 0{,}993$

M. Bazin fait remarquer que les résultats fournis par le mouvement d'une barque ont dû donner des valeurs un peu trop fortes pour le coefficient de tare, par suite de la forme de l'avant-bec de cette barque, qui déterminait une certaine inclinaison. C'est par ce motif que l'on a pris pour la valeur définitive du coefficient de la formule la moyenne arithmétique de la première et de la troisième valeur, qui est

$$\frac{1{,}007 + 0{,}993}{2} = 1{,}00$$

Ce coefficient dépend d'ailleurs des proportions des appareils, et s'il est constant pour un même instrument, il varie de l'un à l'autre, selon la disposition et les dimensions relatives des orifices.

Après cet examen préalable, mais nécessaire, des moyens d'expérimentation organisés par M. Darcy et mis en usage par M. Bazin, il convient d'aborder la question la plus importante, qui est l'objet principal des belles et laborieuses recherches dont ce dernier ingénieur nous présente les résultats et la discussion dans son remarquable Mémoire; c'est celle de la résistance que les parois des canaux et des rivières offrent au mouvement de l'eau parvenu à l'état de régime uniforme.

On sait que la formule donnée par Prony et qui devient

$$RI = aU + bU^2$$

dans laquelle R est le rapport de l'aire A de la section transversale du courant au périmètre mouillé S de cette section, ou ce que l'on nomme le *rayon moyen*, $I = \frac{H}{L}$ la pente par mètre courant ou le rapport supposé constant de la pente totale H à la longueur L considérée, U la vitesse moyenne, a et b des coefficients numériques constants, n'a été basée que sur la discussion d'un petit nombre d'expériences faites dans des circonstances qui n'étaient en réalité que fort peu comparables.

Depuis longtemps beaucoup d'hydrauliciens avaient proposé de la modifier.

Quelques ingénieurs, et généralement les auteurs italiens, étaient revenus à la formule monôme proposée dès 1775 par M. de Chézy, et qui est

$$RI = bU^2$$

dans laquelle on fait ordinairement $b = 0{,}0004$.

M. de Saint-Venant remplaçait dans la même formule l'exposant 2 par $\frac{21}{11}$, en laissant au coefficient b à peu près la même valeur.

Mais tous ces hydrauliciens avaient continué à admettre, d'après Dubuat, que la nature de la paroi était sans influence sensible sur l'intensité de la résistance qu'elle oppose au mouvement, ce qui ne pouvait plus être considéré même comme approximativement exact, depuis les expériences de M. Darcy sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite, qui avaient mis en évidence l'influence très-considérable qu'exercent l'état des parois et la nature de la matière dont ils sont formés.

Si, pour des surfaces aussi régulières que celles des parois intérieures des tuyaux il était devenu désormais incontestable que la résistance qu'elles opposent au mouvement des fluides dépend essentiellement de leur nature et de leur état, il était évident qu'il devait en être *à fortiori* de même quand il s'agissait du mouvement de l'eau dans des canaux où dans des rivières, dont les parois présentent des aspérités de proportions bien plus grandes.

Pour mettre en évidence l'inexactitude des formules employées

jusqu'à ce jour et obtenir quelques indications sur l'écart auquel elles pouvaient conduire, M. Darcy pria d'abord M. Baumgarten d'exécuter des expériences préliminaires sur le canal de Marseille, qui offre une grande variété de profils et des matières de parois très-diverses.

Ces expériences, faites en mai 1855, montrèrent que si, pour une partie de l'aqueduc de Roquefavour, dont le fond avait une surface très-unie et des côtés en briques bien rejointoyées, la valeur du rapport $\frac{RI}{U^2}$ n'était guère que la moitié de celle que lui assignent les anciennes formules, elle en devenait à peu près le double pour une partie du canal dont les parois étaient en terre.

D'autres expériences plus variées, exécutées en 1856 par M. Bazin sur des canaux rectangulaires de même pente et de même largeur, mais dont les parois ont présenté les matières suivantes, ciment pur, briques posées à plat, petit gravier de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre et gros gravier de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre, maintenus par un enduit de ciment, ont montré qu'à mesure que le débit et la vitesse augmentaient, les valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$, au lieu de varier seulement de 0,000327 à 0,000389 comme les formules de Prony l'indiquent, avaient été en décroissant :

Pour les parois en ciment, de.....	0,000242 à	0,000172
——— en planches, de.....	0,000411 à	0,000229
——— en briques, de.....	0,000408 à	0,000277
——— en gravier, de.....	0,000882 à	0,000472
——— en cailloux, de.....	0,001454 à	0,000661

Enfin, une autre expérience, faite sur un canal à section demi-circulaire, a même montré qu'entre une paroi enduite de ciment mélangé d'un tiers de sable et une paroi en ciment pur il existait, en faveur de la seconde, une différence de résistance qui, à pente égale, pouvait augmenter le débit dans le rapport de 1 à 1,13 ou de $\frac{1}{7,7}$ environ.

Il devint donc évident, par ces expériences comparatives, que la nature des parois avait, pour les canaux, de même que pour les tuyaux de conduite, sur la valeur de la résistance qu'elles opposent au mouvement de l'eau bien plus d'influence même que M. Darcy n'en avait trouvé dans ce dernier cas.

D'autres expériences non moins concluantes ont été exécutées sur les rigoles dépendant du canal de Bourgogne, qui se trouvaient dans les conditions normales des canaux ordinaires. Leurs résultats montrent : 1° que la résistance dans ces rigoles a toujours été beaucoup plus considérable que les formules de Prony et d'Eytelwein ne le faisaient penser; 2° que les valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$ décroissent à mesure que le débit augmente.

On a reconnu enfin, par deux de ces séries, que la présence seule de la mousse sur les parois d'un perré peut faire croître la résistance dans le rapport de 1 à 2.

En présence de ces variations si grandes d'un rapport que les hydrauliciens avaient presque tous jusqu'ici regardé comme à peu près constant, et dont la valeur paraît dépendre de tant d'éléments divers, il semble impossible de chercher à en déterminer la loi par des considérations physiques ou mathématiques générales. On est alors réduit à étudier les cas principaux qui se présentent le plus souvent dans la pratique, et à chercher à lier les résultats par des formules d'interpolation qui les représentent avec une exactitude suffisante pour les besoins des applications.

Dubuat avait déjà remarqué que le rapport $\frac{RI}{U^2}$ diminuait lorsque le rayon moyen $R = \frac{A}{S}$ et la vitesse augmentent, mais les limites entre lesquelles il avait pu faire varier les données de ses expériences étaient trop restreintes pour qu'il pût déterminer la loi de cette variation.

D'une autre part, l'examen des diverses séries d'expériences rapportées dans le Mémoire de M. Bazin montrant que la valeur de ce rapport paraît tendre vers une certaine limite constante, il s'ensuit qu'en désignant cette limite par α, la valeur du rapport $\frac{RI}{U^2}$ aurait pour expression générale

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + f(R, U)$$

M. Bazin a comparé les résultats des expériences aux deux formes les plus simples de la fonction inconnue, en supposant successivement

$$f(R, U) = \frac{\beta}{R} \text{ et } f(R, U) = \frac{\beta}{U}$$

et en choisissant pour cette comparaison cinq séries d'expériences pour

lesquelles la pente I par mètre courant était la même et égale à $0^m,0049$, et pour lesquelles le profil rectangulaire avait des largeurs presque identiques. Dans ces expériences les vitesses ont varié dans des limites étendues qui comprennent et dépassent même celles des cas de la pratique, où l'on a à calculer les proportions à donner aux canaux de navigation et d'usines.

Or, en représentant tous les résultats des observations par des constructions graphiques; en prenant, dans tous les cas, les valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$ pour ordonnées, et successivement pour abscisses celles de $\frac{1}{R}$ et celles de $\frac{1}{U}$, M. Bazin a reconnu que pour une même pente de 0,0049 et un même profil, les points ainsi déterminés se trouvaient, dans les deux cas, à très-peu près sur des lignes droites, dont il a trouvé ainsi l'équation pour chacun des cinq canaux sur lesquels ces expériences ont été faites, tandis que les formules qui font abstraction de la nature des parois et qui seraient, d'après

Prony..... $\frac{RI}{U^2} = 0,000309 + \frac{0,000044}{U}$

Eytelwein..... $\frac{RI}{U^2} = 0,000366 + \frac{0,000024}{U}$

et M. de Saint-Venant. $\frac{RI}{U^2} = 0,000401 \left(\frac{1}{U}\right)^{\frac{1}{11}}$

étant aussi représentées graphiquement, il est facile de reconnaître qu'aucune d'elles ne reproduit les résultats des observations, et que par conséquent elles doivent toutes être abandonnées.

Influence de la pente I. — Mais si les cinq séries d'expériences précédentes, faites dans des canaux qui avaient tous la même pente et des profils rectangulaires identiques, et dans lesquels la nature seule des parois a varié, ont servi à montrer la nécessité de tenir compte de ce dernier élément, et si leurs résultats peuvent être à peu près indifféremment représentés par l'une ou l'autre des deux formules d'interpolation précédentes, en y introduisant les valeurs convenables pour les coefficients, il restait à savoir si l'une ou l'autre de ces formules pouvait convenir pour des pentes et des profils différents. C'est ce qui a fait l'objet des expériences exécutées en 1858 et 1859 par M. Bazin, après la mort prématurée de M. Darcy.

Afin de ne pas compliquer la question de l'influence accidentelle et

déjà signalée que des différences, en apparences très-légères, dans la nature des parois, pouvaient exercer, on se décida à opérer sur trois pentes différentes de $0^m,0015$, $0^m,0059$ et $0^m,00886$ par mètre, avec des canaux en planches rectangulaires ayant tous la même largeur de $1^m,96$ environ.

Pour étudier l'influence de parois présentant des aspérités diverses, sans changer la nature des matériaux, on se résolut à n'employer, dans tous les cas, que le bois, et à créer dans les parois de plusieurs des canaux en expérience des aspérités artificielles, en y fixant régulièrement des liteaux de $0^m,027$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur, que l'on a placés d'abord à $0^m,01$, puis à $0^m,05$ les uns des autres. On a eu ainsi neuf séries d'expériences faites sur trois canaux identiques chaque fois quant aux parois, mais de pentes différentes.

En calculant pour chacune de ces séries la valeur du rapport $\frac{RI}{U^2}$, M. Bazin a reconnu que cette valeur va toujours en diminuant, à mesure que le volume d'eau débité et la vitesse augmentent, et que, pour le débit d'un même volume, ce rapport augmente, mais assez lentement, avec la pente et la vitesse ou à mesure que la hauteur d'eau décroît.

Ainsi, en passant du débit de $0^{mc},100$ en une seconde à celui de $1^{mc},236$, la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ varie : pour le canal à parois en planches, de 0,000420 à 0,000226 pour la pente de $0^m,0015$; pour le canal à parois garnies de liteaux espacés de $0^m,01$, elle varie de 0,000654 à 0,000338, et, pour le canal à parois garnies de liteaux espacés de $0^m,05$, elle varie de 0,001379 à 0,000659.

On est donc conduit à conclure de cette discussion que la formule $\frac{RI}{U^2}=\alpha+\frac{\beta}{U}$, qui n'est autre chose que la formule binôme adoptée par Prony et par Eytelwein et employée jusqu'ici, doit être complétement abandonnée, tandis que la formule $\frac{RI}{U^2}=\alpha+\frac{\beta}{R}$ paraît beaucoup plus convenable pour représenter les résultats de l'observation relatifs à un même état des parois et à des pentes diverses.

Influence de la forme du profil transversal des canaux. — Les canaux ont le plus souvent pour profil un rectangle ou un trapèze; quelquefois cependant, quand ils sont étroits et profonds par rapport à leur largeur, ce dernier profil se rapproche beaucoup de la forme triangulaire.

Enfin les radiers de certaines rigoles en maçonnerie ont un profil en arc de cercle.

Les expériences relatives à l'influence de la forme du profil des canaux dont les résultats sont consignés dans le Mémoire de M. Bazin ont été exécutées :

1° Sur trois canaux en planches à section rectangulaire de $1^m,197$, $0^m,80$ et $0^m,48$ de largeur;

2° Sur deux canaux à section en trapèze, dont l'un avait 1 mètre de largeur au fond et des talus inclinés à 45 degrés, et l'autre $0^m,945$ de largeur au fond avec une paroi verticale et l'autre inclinée à 45 degrés;

3° Sur un canal en planches à section triangulaire, dont les côtés étaient inclinés à 45 degrés.

Les six séries d'expériences exécutées sur ces canaux, et dans lesquelles les vitesses ont varié de $0^m,73$ à $2^m,40$ en une seconde, s'accordent toutes, à peu près, pour montrer que la figure du profil transversal ne paraît pas exercer une influence assez grande pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte dans les applications.

Mais les sections circulaires, par suite de la suppression des angles et de la continuité de leur contour, semblent donner lieu, toutes choses égales d'ailleurs, à une résistance sensiblement moindre que celle qui est offerte par des profils anguleux, ce qui justifie l'usage adopté de donner aux cunettes des égouts un profil à peu près circulaire.

Des canaux et des rigoles à petite section. — Lorsqu'il s'agit de petits canaux à grande pente ou de rigoles analogues à celle que l'on emploie pour les irrigations et qui, par la présence des herbes et l'irrégularité de leurs parois, offrent une résistance très-grande, quoique la vitesse ne dépasse guère un mètre par seconde, le rapport $\frac{RI}{U^2}$ ne semble plus suivre la même loi que pour les grands canaux, et, de même que M. Darcy l'avait remarqué au sujet des tuyaux de conduite où la vitesse est très-faible, c'est le rapport $\frac{RI}{U}$ qui paraît devenir constant pour une même pente, mais croissant avec la pente. Ce cas n'étant pas celui qui importe le plus à l'art de l'ingénieur, nous ne nous y arrêterons pas dans ce Rapport.

Expériences pratiques sur les rigoles du canal de Bourgogne. — Après avoir discuté les résultats des expériences diverses exécutées pour démêler la loi que pouvait suivre la résistance des parois dans différents

cas, M. Bazin s'occupe, dans le troisième chapitre de son Mémoire, de chercher à représenter par des formules d'interpolation d'une exactitude suffisante pour la pratique de l'art de l'ingénieur les résultats des nombreuses expériences faites sur les divers canaux ou rigoles dépendant du canal de Bourgogne et qui offraient les diverses natures de parois que l'on rencontre le plus souvent.

Rigole de décharge du réservoir de Grosbois. — Deux séries d'expériences ont été faites sur le mouvement de l'eau dans cette rigole, dont les parois en moellons rejointoyés en ciment offrent une surface très-régulière. Elle a $1^m,80$ de largeur au fond et des parois à peu près verticales ayant un fruit de $\frac{1}{10}$. Le fond était recouvert d'un léger dépôt limoneux.

La vitesse a varié de $2^m,757$ à $6^m,429$, ce qui excède probablement les limites atteintes dans toutes les expériences précédentes, et la vitesse de superficie s'est élevée jusqu'à $9^m,16$.

Les pentes des parties sur lesquelles on a opéré ont été égales à $0^m,037$ et à $0^m,101$ par mètre.

La représentation graphique des résultats a montré qu'ils pouvaient être représentés avec une exactitude suffisante par les formules d'interpolation suivante :

(1) Pente de $0^m,037$ par mètre..... $\frac{RI}{U^2} = 0,000256 + \frac{0,000053}{R}$

(2) Pente de $0^m,101$ par mètre..... $\frac{RI}{U^2} = 0,000309 + \frac{0,000040}{R}$

Malgré leur dissemblance apparente, qui dénote l'influence de la pente sur la valeur des coefficients, les deux formules ci-dessus fournissent à très-peu près les mêmes valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$.

Les pentes des canaux et des rigoles atteignant rarement $0^m,037$ par mètre et presque jamais $0^m,101$ par mètre, l'on voit que la formule (1) pourra être employée dans la plupart des cas, où les revêtements seront de même nature que ceux de la rigole dont il est ici question.

Formules pratiques d'interpolation. — Si la discussion des nombreuses expériences rapportées par M. Bazin montre que la formule binôme

$$RI = aU + bU^2$$

adoptée par Prony et par Eytelwein, non plus qu'aucune formule mo-

nôme à coefficient constant indépendant de la nature des parois et de la pente, ne peuvent représenter les résultats de l'observation, la formule

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

proposée par M. Darcy et appliquée par M. Bazin, quoique plus voisine de l'exactitude, ne peut être d'accord avec l'observation qu'autant que ses coefficients α et β recevront pour chaque cas particulier des valeurs spéciales.

Or la nature, l'état des parois, la quantité plus ou moins grande et sans cesse variable d'herbes qui les recouvre, sont autant de causes indépendantes, dont il n'est possible à aucune théorie ni à aucune formule de tenir compte.

Il faut donc de toute nécessité se contenter de réduire le nombre des cas spéciaux à admettre à un petit nombre, qui se rapportent aux circonstances les plus ordinaires de la pratique, et chercher à déduire de l'ensemble des expériences des formules usuelles d'interpolation d'une exactitude suffisante.

Pour y parvenir et pour relier autant que possible les observations antérieures aux nouvelles, M. Bazin fait remarquer d'abord que, d'une part, Dubuat avait opéré sur de petits canaux en bois, et que ce sont ses expériences qui ont servi de base à la formule de Prony, tandis que les hydrauliciens allemands ont expérimenté principalement sur de grands cours d'eau.

Classant ensuite entre eux les canaux, selon la nature de leurs parois, il distingue quatre types principaux, auxquels il cherche à rattacher tous les autres; ce sont les suivants :

1° Parois très-unies (ciment lissé, bois raboté avec soin, etc.);

2° Parois unies (pierre de taille, brique, planche, ciment mélangé de sable, etc.);

3° Parois peu unies, en maçonnerie de moellons;

4° Parois en terre.

Il ne s'occupe, d'ailleurs, que des canaux à section rectangulaire ou en trapèze.

De la discussion de tous les résultats des expériences qui peuvent

rationnellement se rattacher à l'un des quatre types précédents, M. Bazin a déduit les formules pratiques suivantes :

1er type, parois très-unies..... $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$

2e type, parois unies..... $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00019\left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$

3e type, parois peu unies..... $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00024\left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$

4e type, parois en terre..... $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$

Puis, en représentant graphiquement d'abord les lignes droites dont ces formules expriment l'équation, et reportant sur ces figures, en y désignant par des lettres particulières tous les résultats des expériences anciennes ou nouvelles, selon que, par la nature des canaux où elles ont été faites, elles se rapportent à l'un ou à l'autre de ces quatre types, il fait voir que ces résultats de tous les observateurs peuvent être, avec une exactitude suffisante pour la pratique, reproduits par la formule correspondante. C'est ce que justifient les figures de la planche XVI du Mémoire de M. Bazin.

Il y a même cela de remarquable que l'une des figures qui semblent reproduire avec le plus d'exactitude les résultats des observations est la ligne droite, sur laquelle sont reportés les résultats des expériences sur les canaux ou rivières à parois en terre, dues à Dubuat, sur le canal du Jard et sur la rivière de Hayne; à Funk, sur le Weser; à M. Baumgarten, sur le canal de Marseille; ceux des expériences exécutées sur la Seine, en 1851-1852, par M. Villevert, sous la direction de M. Poirée, ingénieur des ponts et chaussées, et, en 1852-1853, par M. Bonnet, sous la direction de M. Emmery, ingénieur des ponts et chaussées; sur la Saône, en 1858-1859, sous la direction de M. Léveillé, ingénieur des ponts et chaussées, et enfin ceux des six séries spéciales d'expériences exécutées par M. Bazin sur les rigoles de Chazilly et de Grosbois, du canal de Bourgogne.

Rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse maximum. — Une autre recherche fort importante pour les applications, c'est celle du rapport qui existe dans un courant d'eau entre la vitesse moyenne U et la vitesse maximum V déduite de l'observation directe faite, le plus souvent, à l'aide de flotteurs.

On sait, en effet, que, dans la plupart des cas, on est réduit, pour le jaugeage des cours d'eau, à déterminer par ce moyen la vitesse V à la surface, et à en conclure, à l'aide de la formule empirique donnée par Prony,

$$\frac{U}{V} = \frac{V + 2.372}{V + 3.153}$$

la vitesse moyenne U, que l'on multiplie ensuite par la surface du profil moyen du cours d'eau dans la portion où l'on a opéré.

Or cette formule empirique n'a été déduite par Prony que des expériences faites par Dubuat sur de petits canaux en bois, et ne saurait évidemment convenir à tous les cas, puisqu'il est maintenant bien démontré, par les études de M. Darcy et de M. Bazin, que la résistance des parois, qui a une grande influence sur la valeur du rapport $\frac{U}{V}$, varie beaucoup avec la nature de ces parois.

Il était donc nécessaire d'étudier la marche que ce rapport avait pu suivre dans les nouvelles et nombreuses recherches de M. Bazin, et cette question présentait par elle-même des difficultés assez grandes.

En effet, quoique dans les cours d'eau les filets animés de la vitesse maximum soient généralement très-près de la surface, on sait cependant que, dans les courants profonds, cette vitesse maximum ne se trouve qu'à une distance de la surface d'autant plus grande que la profondeur est plus considérable par rapport à la largeur. Il y a longtemps que les bateliers du Rhin et nos pontonniers savent qu'un bateau chargé et ayant un fort tirant d'eau marche, en descendant, plus vite que l'eau qui le soutient ou que les corps flottants à la surface.

Il suit de là que les observations faites avec des flotteurs ne donnent pas toujours la valeur de la vitesse maximum, à moins qu'ils ne soient convenablement immergés.

D'une autre part, quand, à l'inverse, le courant n'a qu'une petite profondeur, pour peu que le flotteur soit épais, la plus grande vitesse étant alors très-près de la surface, il est très-difficile de contrôler les indications des flotteurs par celles du tube jaugeur, qui ne sont exactes que quand ce tube est suffisamment immergé.

On comprend, par ce peu de mots, la difficulté du problème d'hydraulique expérimentale que se proposait d'étudier M. Bazin, et la né-

cessité où il s'est trouvé de choisir parmi les séries d'expériences dont il disposait celles qui étaient le moins exposées aux anomalies résultant des deux causes principales que nous venons d'indiquer, ainsi que de quelques autres moins importantes.

L'examen général des résultats d'observation lui ayant, dès l'abord, montré que le rapport $\frac{U}{V}$ diminuait à mesure que la résistance de la paroi augmentait, il en a conclu qu'il devait exister entre le rapport $\frac{V}{U}$ et le rapport $\frac{RI}{U^2}$, qu'il a désigné par A, une relation de la forme

$$\frac{V}{U} = 1 + f\left(\frac{RI}{U^2}\right)$$

attendu que $\frac{V}{U}$ doit évidemment être égal à l'unité quand $f\left(\frac{RI}{U^2}\right)$ sera nul.

Parmi les formes que peut prendre la fonction inconnue, la plus simple étant

$$f\left(\frac{RI}{U^2}\right) = K\sqrt{\frac{RI}{U^2}}$$

dans laquelle K serait un coefficient constant, M. Bazin a recherché si effectivement cette formule ne serait pas assez d'accord avec les résultats de l'observation pour qu'au moyen d'une valeur déterminée du coefficient K le rapport $\frac{U}{V}$ pût être représenté par la formule

$$\frac{V}{U} = 1 + K\sqrt{\frac{RI}{U^2}}$$

Or, en tirant de cette formule

$$K = \frac{\frac{V}{U} - 1}{\sqrt{\frac{RI}{U^2}}}$$

et en calculant d'après les observations pour lesquelles les valeurs de la vitesse déterminées à l'aide des flotteurs et contrôlées avec le tube jaugeur ont offert le plus de régularité, M. Bazin a trouvé que, si la valeur du coefficient K varie un peu avec celle du rapport $\frac{RI}{U^2}$, elle ne s'éloigne cependant guère de la valeur moyenne $K = 14,1$ ou plus simplement

$K = 14$, tant que $\frac{RI}{U^2}$ n'excède pas 0,001000, ce qui est le cas le plus général.

Il suit de là que le rapport de la vitesse maximum observée près de la surface à la vitesse moyenne U serait donné, entre les limites des observations les plus régulières, par la formule

$$\frac{V}{U} = 1 + 14\sqrt{\frac{RI}{U^2}}$$

d'où l'on peut tirer

$$V - U = 14\sqrt{RI}$$

Cette formule montre que le rapport $\frac{V}{U}$ de la vitesse près de la surface à la vitesse moyenne croît proportionnellement à la racine carrée du rayon moyen R, proportionnellement à la racine carrée de la pente I par mètre courant, et en raison inverse de la vitesse moyenne U.

Dans les canaux dont la largeur est très-grande par rapport à la profondeur d'eau, le rayon moyen diffère très-peu de cette profondeur, et alors le rapport $\frac{V}{U}$ croît proportionnellement à la racine carrée de la profondeur.

Comparaison des résultats de la formule précédente avec les résultats fournis par la formule de Prony et par l'expérience. — La question dont il s'agit ici ayant pour les cours d'eau une grande importance, puisque, la plupart du temps, l'on ne peut déterminer que la vitesse à la surface, à l'aide de flotteurs, il était nécessaire de mettre en regard les résultats déduits de l'observation avec ceux de la formule proposée et avec ceux de la formule de Prony. C'est ce qu'a fait avec soin M. Bazin dans un tableau où les vitesses de superficie observées ont varié de $0^m,315$ à plus de $6^m,00$ en une seconde.

L'examen de ce tableau montre que, si la formule de Prony s'accorde assez bien avec l'observation, lorsque la résistance des parois est peu considérable, comme il était facile de le prévoir, puisqu'elle a été déduite d'expériences faites sur des canaux en bois, il n'en est plus de même à mesure que cette résistance augmente.

Il convient de faire remarquer, avec M. Bazin, que l'erreur que l'on peut commettre en appliquant la formule qu'il propose aux dix-huit ex-

périences où la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ dépasse 0,001000 n'atteint pas en moyenne 0,03 de la vitesse moyenne U observée dans ces dix-huit expériences, tandis que celle que peut donner la formule de Prony s'élève en moyenne à 0,186 de cette vitesse, et que, parfois, elle atteint plus de la moitié de la valeur de la vitesse déduite de l'observation.

Il résulte donc de cette discussion que la relation entre la vitesse maximum observée près de la surface, à l'aide de flotteurs ou d'autres moyens, et la vitesse moyenne, peut être représentée avec l'exactitude nécessaire pour les applications par la formule

$$V - U = 14\sqrt{RI} \quad \text{ou} \quad U = V - 14\sqrt{RI}.$$

Lorsqu'il s'agit du jaugeage d'un cours d'eau, l'on peut déterminer par l'observation directe les quantités V, R et I, et, par conséquent, la vitesse moyenne U, qu'il suffit ensuite de multiplier par l'aire de la section transversale pour obtenir le débit, sans qu'il soit nécessaire alors de tenir compte de la résistance des parois, dont l'influence est implicitement comprise dans les valeurs qu'ont prises les quantités connues.

En joignant la formule précédente à celles qui ont été données plus haut pour les quatre types auxquels on peut rapporter la plupart des canaux dont on veut étudier le régime ou que l'on veut établir dans des conditions à peu près données, on pourra résoudre les questions d'application qui se présentent à l'ingénieur, et l'on aura la certitude d'obtenir des solutions, sinon rigoureuses, au moins plus exactes que celles que l'on pouvait jusqu'ici déduire des règles connues.

A l'exemple de Prony, M. Bazin a cru devoir joindre à son Mémoire des tables destinées à faciliter les calculs relatifs au mouvement uniforme de l'eau dans les canaux.

Les formules d'interpolation auxquelles il est parvenu étant

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}, \quad \text{d'où l'on tire } RI = \left(\alpha + \frac{\beta}{R}\right) U^2 \text{ et } U = \frac{\sqrt{RI}}{\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$$

et

$$U = V - 14\sqrt{RI}, \quad \text{d'où } \frac{U}{V} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}}$$

il a calculé pour les quatre types de canaux auxquels il propose de rapporter les différents cas de la pratique :

1° Deux tables faisant connaître pour toutes les valeurs du rayon moyen R que l'on peut rencontrer dans la pratique les valeurs correspondantes de $\alpha+\frac{\beta}{R}$ et de $\sqrt{\alpha+\frac{\beta}{R}}$;

2° Deux tables donnant les valeurs du rapport $\frac{U}{V}$ de la vitesse moyenne à la vitesse maximum pour les différentes valeurs du rayon moyen R ou du coefficient $\alpha+\frac{\beta}{R}$.

Ces tables peuvent être utiles, mais les formules sont assez simples et d'un usage assez commode pour qu'elles ne soient pas nécessaires aux ingénieurs.

Recherches sur la résistance que l'air exerce sur la surface d'un courant. — L'on a souvent attribué à cette résistance une influence assez considérable pour qu'il soit nécessaire d'en tenir compte, et M. Darcy s'était aussi proposé d'étudier cette question assez délicate, en même temps que la répartition des vitesses, soit dans une même section transversale, soit dans une section longitudinale.

Pour y parvenir, il fit faire, en 1857, un tuyau rectangulaire auquel il donna $0^m,80$ de largeur sur $0^m,50$ de hauteur, et, plus tard, en 1859, M. Bazin en fit établir un deuxième de $0^m,48$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur. On détermina d'abord les volumes d'eau débités par ces tuyaux coulant à gueule bée sous une pente donnée, puis on enleva leur paroi supérieure et l'on y fit de nouveau couler l'eau à surface découverte.

D'autres expériences spéciales ayant montré que, dans l'écoulement par les tuyaux pleins, les vitesses des filets placés aux mêmes distances verticales, au-dessus et au-dessous de l'axe des tuyaux, étaient égales, il s'ensuivait qu'en supposant le profil du canal partagé en deux moitiés par une ligne horizontale, il s'écoulait par chacune d'elles des volumes égaux. Cela posé, si, dans le canal découvert de même largeur, l'on faisait, avec la même pente motrice, couler une nappe fluide d'une épaisseur égale à la moitié de la hauteur du canal fermé, l'influence de la résistance retardatrice que l'air pouvait exercer sur la surface devait se manifester en rendant le volume d'eau écoulé dans le canal

ouvert inférieur à la moitié de celui qu'avait débité le tuyau plein, de même largeur.

Or deux expériences très-comparatives, faites dans les conditions que nous venons d'indiquer, ont donné les résultats suivants.

TUYAU DE 0m,80 DE LARGEUR.		TUYAU DE 0m,48 DE LARGEUR.	
FERMÉ.	DÉCOUVERT.	FERMÉ.	DÉCOUVERT.
Hauteur..... 0m,50	Hauteur d'eau.. 0m,2458	Hauteur..... 0m,30	Hauteur d'eau.. 0m,1513
Pente..... 0,00427	Pente..... 0,00430	Pente..... 0,00627	Pente..... 0,00600
Débit..... 0mc,618	Débit..... 0mc,307	Débit..... 0mc,191	Débit..... 0mc,093

Ces expériences ayant été, d'ailleurs, faites par un temps calme, elles semblent indiquer que l'air n'oppose pas au mouvement de l'eau une résistance assez notable pour contrarier l'écoulement, du moins en ce qui concerne le volume d'eau débité.

Mais il n'en est pas, à beaucoup près, de même quant à la répartition des vitesses des filets fluides qui traversent une même section. Des expériences nombreuses, faites avec beaucoup de soin par M. Bazin, à l'aide du tube jaugeur de M. Darcy, et par lesquelles il a déterminé les vitesses en quarante-cinq points, symétriquement répartis d'un même profil transversal, lui ont d'abord montré, comme nous l'avons indiqué plus haut, que la répartition de ces vitesses dans les tuyaux fermés se faisait avec une très-grande symétrie, et que si, à l'aide de certaines opérations graphiques très-simples, qu'il indique, on déterminait, dans chacun de ces profils, le lieu des filets animés d'égales vitesses à différentes distances de l'axe du tuyau, on obtenait des courbes fermées parfaitement symétriques, et qui se rapprochaient d'autant plus de la forme de rectangles à angles arrondis et à côtés parallèles aux parois du tuyau, qu'elles se rapportaient à des filets plus voisins de ces parois.

Mais M. Bazin a trouvé qu'il en était tout autrement dans les canaux découverts. Les courbes des filets d'égale vitesse, les plus voisines des parois, sont encore des rectangles dont les côtés verticaux s'arrêtent à peu près à angle droit à la surface; mais, à mesure qu'on s'éloigne des parois et que les vitesses vont, par conséquent, en croissant, ces courbes

tendent de plus en plus à se fermer vers leur partie supérieure, et elles viennent couper la surface du liquide sous des angles de plus en plus aigus. Enfin, quand la profondeur du courant atteint ou dépasse le tiers de la largeur du canal, les courbes les plus voisines du milieu, et dans lesquelles la vitesse est la plus grande, se ferment complétement et limitent ainsi une sorte de noyau fluide central dont tous les filets traversent le profil avec une même vitesse supérieure à celle de tous ceux de la surface. Cette tendance des courbes à se fermer est d'autant plus sensible que la résistance des parois est plus considérable ou que les vitesses sont moindres.

Des effets analogues se manifestent avec tous les profils de canaux, et la forme seule de ces courbes est influencée par celle du canal.

M. Bazin, en déterminant ces courbes d'égale vitesse, a eu soin de distinguer celle qui est relative aux filets animés de la vitesse moyenne, mais elle ne présente pas de circonstances particulières.

Les expériences délicates dont nous venons d'indiquer en peu de mots les résultats les plus saillants montrent d'une manière évidente, comme le fait très-bien remarquer M. Bazin, que la distribution des vitesses dans un courant découvert est beaucoup plus compliquée qu'on n'aurait pu le penser, en voyant la régularité parfaite avec laquelle elles se répartissent au contraire dans l'intérieur d'un tuyau fermé.

Comment ces différences dans les vitesses des filets qui traversent une même section et leur répartition dans cette section se produisent-elles sans que le volume d'eau débité paraisse en être influencé, ainsi que semblent le prouver les observations comparatives faites entre les débits des tuyaux fermés et des canaux découverts dont nous avons rapporté plus haut les résultats? C'est ce que la science n'a encore pu expliquer complétement.

Quoi qu'il en soit, M. Bazin, ayant eu le soin de déterminer pour un grand nombre de profils réguliers rectangulaires ou circulaires, sept, huit et jusqu'à dix courbes de situation des filets animés de vitesses égales, a fourni, par ce long et patient travail, aux géomètres qui voudront s'occuper de la recherche des lois de la répartition des vitesses dans les nappes fluides, des données précieuses, qui leur manquaient jusqu'à ce jour pour vérifier l'exactitude des hypothèses que l'on peut faire sur ces phénomènes délicats.

Variation de la vitesse des filets fluides dans une même verticale. — M. Ba-

zin s'est aussi occupé de cette recherche, qui a été traitée par beaucoup d'hydrauliciens, et il a employé à cet effet le tube jaugeur de M. Darcy, à l'aide duquel on peut obtenir des indications plus exactes et surtout beaucoup plus comparables entre elles que celles que fournissent les autres moyens mis en usage. Mais les canaux sur lesquels il a fait ses observations ne présentaient malheureusement que des profondeurs d'eau comprises entre $0^m,084$ et $0^m,380$, avec des vitesses moyennes comprises entre $2^m,573$ et $0^m,643$, c'est-à-dire entre des limites beaucoup trop restreintes pour qui lui ait été possible de démêler la véritable loi de la variation des vitesses.

De la discussion des observations qu'il lui a été possible de faire, M. Bazin a pensé pouvoir déduire que l'excès de la vitesse V à la surface sur la vitesse v d'un filet situé à une profondeur h au-dessous de cette surface, dans un canal de pente I et de profondeur H données, variait comme le carré de la profondeur h, et était exprimé par la formule

$$V - v = K\sqrt{RI}\left(\frac{h}{H}\right)^2$$

dans laquelle :

V est la vitesse maximum supposée très-voisine de la surface,

v la vitesse d'un filet situé à la profondeur h,

H la profondeur totale du courant,

K un coefficient constant peu différent de 20.

On tire de cette formule

$$v = V - K\sqrt{RI}\left(\frac{h}{H}\right)^2 = V - \frac{K}{H^2}\sqrt{RI}\,h^2$$

ce qui montre que la vitesse, à une profondeur donnée h, croît à mesure que la profondeur totale augmente, mais non d'une quantité constante, ou que le paramètre de la parabole, dont l'expression est $\frac{K}{H^2}\sqrt{RI}$, varie avec la profondeur H, au lieu de rester constant comme le pense un savant ingénieur qui a proposé une théorie du mouvement uniforme des eaux courantes.

La formule précédente ne s'applique d'ailleurs qu'à des cas où la vitesse maximum est très-voisine de la surface, ce qui est celui des expériences discutées par M. Bazin.

Elle s'éloigne un peu de celle que M. Boileau a, de son côté, cru

pouvoir déduire d'expériences faites aussi sur de faibles profondeurs d'eau, et d'après laquelle la relation géométrique entre les profondeurs et les vitesses des différents filets situés sur une même verticale serait aussi représentée par une courbe à peu près parabolique, dont le sommet correspondant à la plus grande vitesse serait, pour les cas observés par cet officier, à une profondeur voisine du cinquième de celle de l'eau dans le canal.

Il serait, comme on le voit, à désirer que, profitant de la facilité que donne le tube jaugeur de M. Darcy d'obtenir la vitesse des filets situés à toutes les profondeurs, M. Bazin, ou quelque autre ingénieur placé dans des circonstances favorables, pût opérer sur un grand cours d'eau, tel que le Rhin ou le Rhône, et étendre ces recherches entre des limites assez larges pour qu'il fût possible de démêler la véritable loi de variation des vitesses des filets qui passent dans une même verticale.

Outre l'intérêt que cette question présente au point de vue purement scientifique, comme elle conduirait à la connaissance, au moins très-approchée de la vitesse de fond, elle pourrait avoir pour l'art de l'ingénieur une véritable utilité.

Du mouvement varié dans les canaux. — On sait que l'étude du mouvement de l'eau dans les courants dont le régime n'est pas uniforme a fait l'objet de recherches importantes dues à M. Poncelet et à M. Bélanger, qui ont donné une expression analytique de l'abaissement de la surface de l'eau dans ces courants, entre deux profils où la vitesse moyenne est différente. Dans cette expression entrent un coefficient numérique du terme qui contient ces vitesses et les coefficients ordinaires de la résistance des parois, auxquels on suppose des valeurs à peu près égales à celles qu'ils ont dans le cas du régime uniforme.

M. Bazin s'est proposé de discuter les résultats de cette formule dans les divers cas que peut présenter le mouvement varié et de les comparer à ceux de l'observation.

Dans le cas du ressaut les circonstances de ce mouvement sont le plus souvent si tumultueuses, qu'il est bien difficile d'obtenir des mesures suffisamment précises de la hauteur et de la forme des remous.

La répartition des vitesses dans une même section, et la résistance des parois pouvant d'ailleurs ne pas être les mêmes que dans le mouve-

ment uniforme, on conçoit combien il est difficile d'une part à la théorie, et de l'autre à l'expérience de démêler et d'établir la véritable loi de semblables phénomènes.

Quoi qu'il en soit, cette partie des recherches de M. Bazin, en fournissant de nouveaux éléments d'observation recueillis avec le plus grand soin, ne peut que contribuer à jeter du jour sur cette délicate partie de la question du mouvement de l'eau dans les canaux.

En résumé, l'on voit, par l'analyse détaillée que nous avons faite du Mémoire de M. Bazin, que la nature des parois exerce sur la valeur de la résistance qu'elles opposent au mouvement de l'eau une influence qu'il n'est pas permis de négliger, comme l'ont fait Prony, Eytelwein et tous les hydrauliciens qui ont donné des règles pratiques à ce sujet, et que cette influence varie tellement d'une paroi à une autre, qu'il n'est pas possible de représenter par une même formule tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique.

Plusieurs géomètres ont cherché dans ces derniers temps, à l'aide d'hypothèses plus ou moins ingénieuses, à soumettre au calcul ces délicates questions; mais, comme ces hypothèses n'étaient qu'incomplétement conformes aux véritables circonstances du mouvement des liquides, les conséquences auxquelles l'analyse les a conduits ne se sont pas trouvées d'accord avec l'observation, même dans le cas du mouvement uniforme.

La solution de cette importante question échappe donc, comme tant d'autres de physique mécanique, à l'analyse mathématique. L'ingénieur, qui a cependant besoin de règles pour se guider dans les applications, est ainsi forcé de recourir à l'observation, et de se contenter des formules empiriques qui en représentent les résultats. Sans doute cette manière de résoudre des questions d'un si grand intérêt n'a pas l'éclat de solutions déduites de théories scientifiques basées sur des considérations plus ou moins ingénieuses, mais trop souvent aussi sur des hypothèses peu conformes aux faits naturels. Les ingénieurs qui, comme M. Darcy, M. Bazin et d'autres, se vouent avec une persévérance poussée jusqu'à la perte de la santé et de la vie, n'en méritent pas moins la reconnaissance des amis de la science.

En poursuivant l'œuvre entamée par M. Darcy, et en la complétant par une discussion aussi savante que lucide, M. Bazin n'a pas seulement fait un travail d'une grande valeur pour l'art de l'ingénieur; mû par un

pieux souvenir pour la mémoire du chef qui lui avait ouvert la voie, il a largement indiqué la part due à son prédécesseur pour la conception et pour l'organisation générale de ces recherches, mais la sienne n'en reste pas moins très-considérable et ne peut manquer d'être justement appréciée par l'Académie et par le corps distingué auquel il a l'honneur d'appartenir.

En conséquence, vos Commissaires vous proposent d'accorder l'approbation de l'Académie au Mémoire de M. Bazin, et d'en ordonner l'impression dans le *Recueil des savants étrangers*, ainsi que l'envoi de ce Rapport à M. le Ministre de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

Les conclusions de ce Rapport sont adoptées.

AVANT-PROPOS.

Les recherches dont l'ouvrage suivant contient l'exposé ont été entreprises par M. Darcy pour faire suite à ses *Expériences sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux*. En rendant compte de ce premier travail, soumis, en 1854, au jugement de l'Académie des sciences, M. le général Morin avait émis le vœu que des recherches aussi utiles fussent poursuivies et étendues aux canaux découverts. C'était aussi l'objet des plus vifs désirs de M. Darcy, et une année s'était à peine écoulée qu'il s'occupait, avec le concours de MM. Baumgarten et Ritter, d'organiser à Dijon un vaste ensemble d'expériences hydrauliques. Le départ de ces deux ingénieurs l'ayant, peu de temps après, privé de leur collaboration, il voulut bien m'associer à ses travaux, que j'eus ainsi le bonheur de partager presque dès le début.

Les expériences se poursuivaient avec une extrême activité, malgré de cruelles souffrances qui l'arrachaient quelquefois à ses études favorites, lorsque, dans les premiers jours de l'année 1858, une mort aussi soudaine que prématurée vint tout à coup l'enlever à la science. Mais l'œuvre

qui avait abrégé sa vie ne pouvait rester incomplète, et, malgré toutes les difficultés d'une pareille tâche, je n'hésitai pas à en entreprendre l'achèvement. Mon seul désir est d'avoir justifié la confiance dont m'avait honoré M. Darcy, et d'avoir pu, en rendant hommage à sa mémoire, être en même temps utile à la science.

Puissamment secondé dans ce long travail par le bienveillant appui de M. le Ministre des travaux publics, qui a libéralement mis à ma disposition les ressources nécessaires, j'ai trouvé en outre dans le personnel du canal de Bourgogne des auxiliaires dévoués; je dois surtout mentionner M. Chapuis, conducteur des ponts et chaussées, qui m'a rendu les plus grands services, en coopérant à toutes les expériences et en dessinant les planches de l'atlas avec une intelligence remarquable.

M. Darcy ne s'était pas uniquement proposé de déterminer les lois de l'écoulement dans les canaux; ses expériences devaient encore comprendre l'étude des phénomènes compliqués qui accompagnent la propagation de la marée dans les fleuves. Ces recherches accessoires, qui ont pris par la suite beaucoup plus de développement que je ne l'avais d'abord supposé, formeront une seconde partie de l'ouvrage.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR

L'ÉCOULEMENT DE L'EAU

DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

INTRODUCTION.

Les expériences dont nous avons à rendre compte sont très-nombreuses : entreprises sur une très-grande échelle à la fin de 1855, elles n'ont été terminées que dans les premiers mois de 1860. La discussion complète des faits recueillis pendant ce long espace de temps est nécessairement compliquée, et nous obligera souvent à entrer dans des détails assez minutieux. Afin d'en faciliter la lecture, il nous a semblé utile de la faire précéder d'un exposé sommaire des résultats obtenus. Cet exposé se divise, comme l'ouvrage auquel il sert d'introduction, en trois parties :

1° Expériences sur les canaux à régime uniforme ;

2° Expériences sur la distribution des vitesses dans les courants ;

3° Expériences sur le mouvement varié.

1° EXPÉRIENCES SUR LES CANAUX À RÉGIME UNIFORME.

Formules de M. de Prony, d'Eytelwein, etc.

M. de Prony, dans ses recherches sur la théorie des eaux courantes[1], résume de la manière suivante les principaux résultats fournis par l'expérience pour la solution du problème de l'écoulement de l'eau dans un canal :

« PREMIER RÉSULTAT. — Un fluide comme l'eau ayant son « écoulement par un tuyau ou canal d'une longueur suffi- « sante pour qu'il puisse y établir son régime, éprouve des « résistances qui peuvent et doivent être regardées comme « des forces retardatrices dont les valeurs sont de même « ordre que celle mesurant la force accélératrice due à la « pesanteur ; d'où il suit que ces forces peuvent non-seule- « ment diminuer l'effet de la pesanteur d'une quantité finie, « mais encore l'anéantir et réduire le mouvement à l'uni- « formité.

« DEUXIÈME RÉSULTAT..... Il paraît, d'après des expé- « riences nombreuses et soignées de Dubuat, Dobenheim et « Bénézech, que, dans le cas de la fluidité, les résistances « qui modifient l'effet de la pesanteur sont, dans une section « transversale quelconque, indépendantes des pressions des « molécules comprises dans cette section ; résultat bien dif- « férent de ceux obtenus sur le mouvement des corps so- « lides glissant les uns sur les autres.

« TROISIÈME RÉSULTAT. — Dans une section transversale « quelconque, les diverses molécules ont, perpendiculai- « rement à cette section ou parallèlement à la directrice, « des vitesses différentes. Il y a un point de cette section où

[1] *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes*, 1804, p. 39 et suiv.

« se trouve le maximum de vitesse (dans un tuyau cylin-
« drique ce point est au centre de la section transversale
« circulaire; dans un canal découvert, il est en général à la
« surface); et si l'on imagine une ligne droite menée de ce
« point à la paroi, dans le plan de la section, les vitesses
« des molécules fluides correspondantes aux divers points
« de cette ligne diminuent progressivement depuis l'origine
« de la ligne (où est le maximum de vitesse) jusqu'à la
« paroi.

« Quatrième résultat..... La vitesse à la surface, la
« vitesse de fond et la vitesse moyenne ont entre elles des re-
« lations que Dubuat s'est attaché à découvrir; et ses expé-
« riences l'ont conduit à cette conclusion remarquable que
« les relations dont il s'agit sont indépendantes de la gran-
« deur et de la forme du lit.....

« Cinquième résultat. — Lorsque le fluide coule dans
« un tuyau ou sur un lit susceptible d'être mouillé, une
« lame ou couche de fluide reste adhérente à la matière qui
« compose ce tuyau ou dans laquelle ce lit est creusé; cette
« couche peut ainsi être regardée comme la véritable paroi
« qui renferme la masse fluide en mouvement.

« Sixième résultat. — Il semblerait, d'après les expé-
« riences de Dubuat, que l'action attractive du tuyau ou du
« lit s'arrête à la couche fluide qui tapisse la paroi ou qui
« en tient lieu, cet habile observateur ayant cru reconnaître
« que la diversité des matières dans lesquelles l'écoulement
« avait lieu ne faisait pas sensiblement varier la résis-
« tance.

« Septième résultat. — Les molécules de l'eau adhèrent
« les unes aux autres..... cette adhésion ou cohésion des
« molécules fluides entre elles, et celle des mêmes molécules
« à la matière dont le tuyau est formé ou dans laquelle le

« lit est creusé, doivent en général être représentées par des « quantités de valeurs différentes, mais comparables ou de « même ordre les unes par rapport aux autres. »

Partant de ces principes, et admettant comme venait de le faire M. Girard, d'après les expériences de Coulomb, que l'expression de la résistance opposée par les parois du lit au mouvement de l'eau est composée de deux termes dont l'un est proportionnel à la première, et l'autre à la seconde puissance de la vitesse, M. de Prony en déduit la formule

$$\frac{g\omega\zeta}{\lambda\chi} = \alpha U + \beta U^2$$

ω désigne dans cette formule la section, $\frac{\zeta}{\lambda}$ la pente, χ le périmètre mouillé, U la vitesse moyenne; on désigne plus ordinairement par R le rayon moyen $\frac{\omega}{\chi}$, par I la pente $\frac{\zeta}{\lambda}$, par a et b les coefficients $\frac{\alpha}{g}$ et $\frac{\beta}{g}$, et l'on écrit l'équation précédente sous la forme

$$RI = aU + bU^2$$

Les valeurs adoptées par M. de Prony pour les coefficients a et b sont,

$$a = 0{,}000044$$
$$b = 0{,}000309$$

Elles ont été obtenues à l'aide de trente expériences de Dubuat, et d'une expérience de Chézy sur la rigole de Courpalet.

Quelques années plus tard, M. Eytelwein, joignant à ces données cinquante-cinq expériences des hydrauliciens allemands, proposa, pour ces deux coefficients, les nouvelles valeurs[1],

$$a = 0{,}000024$$
$$b = 0{,}000366$$

[1] *Mémoires de l'Académie de Berlin*, années 1814 et 1815.

Plus récemment, M. de Saint-Venant[1], dans le but de rendre les calculs exécutables par logarithmes, a donné la formule à exposant fractionnaire

$$RI = 0{,}000401\ U^{\frac{21}{11}}$$

D'autres auteurs, dans un semblable but de simplification, sont revenus à l'expression monôme $RI = bU^2$ donnée par Chézy dès 1775. M. Courtois[2] a proposé la formule

$$RI = \frac{0{,}007848}{2g}\ U^2$$

qui revient à l'expression

$$RI = 0{,}0004\ U^2$$

adoptée par plusieurs hydrauliciens italiens.

Toutes ces formules sont presque équivalentes dans les applications pratiques; ce ne sont, à proprement parler, que des remaniements différents des mêmes données expérimentales; car la masse des faits d'observation dont la théorie peut disposer n'a pas sensiblement augmenté depuis le commencement de ce siècle. Elles font toutes abstraction de la nature de la paroi, de la figure et de la grandeur du canal. Il est cependant difficile d'admettre *a priori* que ces divers éléments soient sans influence sur l'écoulement. M. de Prony lui-même émet des doutes à cet égard dans plusieurs passages de ses Recherches physico-mathématiques. Il ne se faisait donc aucunement illusion sur l'insuffisance des données expérimentales dont il pouvait disposer. Nous allons faire voir que cette insuffisance était encore plus grande qu'il ne le pensait, et que plusieurs de ses

[1] *Formules et tables nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes*, 1851.

[2] *Traité des moteurs inanimés*, 1850.

principes fondamentaux, déduits de faits mal observés, sont contredits par l'expérience.

Déjà plusieurs ingénieurs, notamment M. Dupuit[1], ont signalé l'incertitude des formules en usage, en reproduisant avec plus d'insistance les doutes émis par M. de Prony lui-même.

M. Darcy[2], expérimentant, en 1842, sur l'aqueduc des fontaines de Dijon, qui est intérieurement revêtu de ciment, obtint un débit beaucoup plus considérable que ne l'indiquaient les formules usitées. Quelques années plus tard, il put constater, dans ses belles expériences sur les tuyaux de conduite, que l'état de la paroi du tuyau exerce une influence capitale sur l'écoulement[3]. On ne pouvait plus douter dès lors qu'il n'en fût de même dans les canaux découverts.

Influence de la nature de la paroi sur l'écoulement.

Le moyen le plus simple de constater l'influence de la nature de la paroi sur l'écoulement est évidemment de construire plusieurs canaux entièrement semblables quant à la pente et à la section transversale, et différant seulement par la nature de leurs parois, et d'y faire couler un même volume d'eau. Tous les éléments de la question étant identiques, sauf l'influence de la paroi que l'on cherche à mettre en relief, on doit s'attendre à obtenir ainsi un résultat concluant. C'est ce que fit M. Darcy en 1856. Il établit successivement cinq canaux rectangulaires de $1^m,80$ à 2 mètres de largeur, ayant tous une même pente de $0^m,005$ par mètre, et ne différant que par la nature de la paroi. Le premier était en ciment, le deuxième en planches, le troisième

[1] *Études théor. et prat. sur le mouvement des eaux courantes*, 1848, p. 51 et suiv.
[2] *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856, p. 367 et suiv.
[3] *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*, 1857.

en briques; le quatrième et le cinquième étaient recouverts de gravier engagé dans du ciment, de manière à simuler un fond de rivière. En y faisant couler un même volume d'eau de $1^{mc},236$ par seconde, on obtint pour le rapport $\frac{RI}{U^2}$, qui d'après la formule de Prony eût été presque constant, les valeurs suivantes[1] :

	Valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ données	
	par l'expérience.	par la formule de Prony.
1° Canal en ciment	0,000172	0,000327
2° Canal en planches	0,000229	0,000329
3° Canal en briques	0,000277	0,000330
4° Canal revêtu de petit gravier	0,000472	0,000335
5° Canal revêtu de gravier un peu plus gros	0,000661	0,000338

Le rapport $\frac{RI}{U^2}$ qui, d'après la formule de Prony, aurait dû être sensiblement constant, a donc varié dans le rapport de 1 à 4.

Les divergences peuvent atteindre des proportions beaucoup plus grandes encore. En effet, les canaux revêtus de gravier, malgré les aspérités qui couvraient leurs parois, n'en étaient pas moins fort régulièrement construits, et présentaient une section rectangulaire bien définie. Mais si l'on considère des canaux en terre dans lesquels la section est nécessairement plus irrégulière, les écarts de la formule deviennent plus sensibles.

Les nombreuses rigoles du canal de Bourgogne offraient à cet égard des vérifications faciles, qu'il n'était pas permis de négliger. Les chiffres suivants donneront une idée des

[1] Voir 2e partie, chap. 1, séries 2, 3, 4, 5 et 7.

erreurs auxquelles peut conduire l'emploi d'une formule unique[1].

	Valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ données	
	par l'expérience.	par la formule de Prony.
Canal en terre (fond et talus vaseux).....	0,000749	0,000407
Canal en terre (fond et talus pierreux).....	0,001300	0,000383
Canal revêtu d'un perré couvert de mousse.....	0,002331	0,000343
Même canal (après que la mousse qui recouvrait le perré eut été grattée).....	0,001024	0,000335

Les deux derniers exemples font voir jusqu'où peut aller l'influence de l'état des parois sur l'écoulement : la mousse qui recouvrait le perré n'occupait qu'une partie insignifiante de la section du canal, et cependant l'enlèvement de cette mousse a diminué de moitié la valeur de $\frac{RI}{U^2}$.

Des modifications beaucoup moins importantes encore ont une influence appréciable. Deux canaux, absolument semblables quant à la pente et à la section transversale, mais construits l'un en ciment pur, l'autre en ciment mélangé d'un tiers de sable siliceux extrêmement fin, ont débité, dans des circonstances identiques, le premier $1^{mc},13$, le deuxième $1^{mc},03$ par seconde, soit un dixième environ en moins[2]. M. Darcy avait déjà constaté, en 1851, que l'oxydation intérieure d'un tuyau de conduite dans l'intervalle de deux expériences suffisait pour modifier les résultats.

Loin d'être négligeable, l'influence de la nature de la paroi est donc la circonstance la plus importante qui puisse faire varier l'écoulement dans un canal. L'hypothèse par la-

[1] Voir 2e partie, chap. III, séries nos 34, 35, 38 et 49.
[2] Voir 2e partie, chap. II, séries nos 24 et 25.

quelle on substitue à la paroi véritable une sorte de paroi liquide recouvrant les aspérités (quatrième et cinquième résultat de M. de Prony) doit donc être abandonnée. On comprend en effet que, même en admettant l'existence de cette couche d'eau immobilisée, elle ne peut complétement effacer les aspérités de la paroi, et que dès lors la présence de ces aspérités occasionne dans le courant des tourbillonnements et des mouvements confus dont l'action ne saurait être négligée. Comment cette action a-t-elle pu échapper à l'esprit sagace et observateur de Dubuat? Comment a-t-il pu admettre que la diversité des matières dans lesquelles l'écoulement avait lieu ne faisait pas sensiblement varier la résistance? C'est ce que nous allons essayer de faire comprendre en peu de mots.

Dubuat a remarqué le premier que la *résistance croît en moindre raison que le carré des vitesses*, c'est-à-dire que $\frac{RI}{U^2}$ décroît dans un même canal quand la vitesse augmente[1]. Ses expériences peuvent se partager en deux catégories bien distinctes : les unes ont eu lieu sur des canaux en bois, de très-petite dimension; les autres sur des cours d'eau dans lesquels R variait de $0^m,50$ à $1^m,80$. Les parois en planches offrent beaucoup moins de résistance à l'écoulement que les parois en terre, et, si les canaux en planches de Dubuat avaient pu avoir des dimensions égales à celles de la rivière de Hayne et du canal du Jard, sur lesquels il a opéré, ils auraient conduit à des valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ incomparablement moindres; mais, en raison de leur petitesse, ils ont fourni des valeurs peu différentes, qui ont pu induire en erreur un aussi habile observateur que Dubuat.

Le coefficient $\frac{RI}{U^2}$ dépend de deux éléments différents : il augmente avec la rugosité de la paroi et diminue quand

[1] *Principes d'hydraulique*, art. 27.

la section et par suite la vitesse augmentent. En passant de canaux en planches de très-petites dimensions à des canaux en terre de dimensions beaucoup plus grandes, ces deux causes de variation qui agissent, l'une pour diminuer $\frac{RI}{U^2}$, l'autre pour l'augmenter, peuvent, dans une certaine mesure, se compenser, de telle sorte que la valeur de ce coefficient reste à peu près la même dans les deux cas. C'est cette espèce de compensation confuse provenant du rapprochement d'expériences trop dissemblables et trop peu nombreuses qui a trompé Dubuat. Il ajoute, il est vrai[1] : « En « considérant comment l'eau prépare elle-même la surface « sur laquelle elle coule, on voit que la différence des ma- « tières dont peut être composée la paroi ne doit pas en ap- « porter de bien sensible sur la résistance. Nous n'avons, « en effet, trouvé aucune variation dans le frottement qu'on « pût rapporter à cette cause dans les différents cas où l'eau « coulait sur du verre, du plomb, de l'étain, du fer, du bois « et différentes espèces de terres. » A l'exception des parois en terre auxquelles se rapportent les explications précédentes, la similitude des résultats obtenus sur du verre, du plomb, de l'étain, etc. n'a rien qui doive surprendre. C'est, en effet, l'état plus ou moins rugueux de la paroi et non pas la nature spécifique de la matière dont elle est formée qui modifie l'écoulement. Des parois en verre et en étain peuvent être fort différentes pour un chimiste qui se proposerait d'étudier leur composition intime; mais elles peuvent être à peu près équivalentes pour l'hydraulicien, qui ne considère que le degré de poli de leur surface.

La résistance variant à l'infini avec l'état des parois, une formule unique applicable à tous les cas que l'on peut ren-

[1] *Principes d'hydraulique*, art. 36.

contrer n'est plus possible. Quelle que soit l'expression analytique adoptée pour exprimer la loi suivant laquelle varie la résistance dans un même canal, cette formule contiendra nécessairement un ou plusieurs coefficients indéterminés, dont la valeur devra être demandée à l'expérience dans chaque cas particulier. Les formules de Prony, d'Eytelwein, etc. ne peuvent donc que conduire dans la pratique aux plus graves erreurs, et doivent être abandonnées complétement. Les expériences dont elles ont été déduites, bien qu'assez nombreuses, ne comprennent en réalité que deux cas distincts, et ce sont précisément deux cas extrêmes; presque toutes, en effet, se rapportent, soit à des canaux en bois de très-petites dimensions, soit à des cours d'eau naturels de dimensions considérables. L'insuffisance de ces expériences peut paraître singulière, si l'on remarque que la table donnée par M. de Prony[1], quelques années après la publication du Mémoire d'Eytelwein, ne comprend pas moins de 99 expériences.

M. de Prony s'est servi, pour établir sa formule, de 31 expériences, savoir : 30 de Dubuat, dont 23 sur de petits canaux en bois[2], 7 sur le canal du Jard et la rivière de Hayne[3], et une de Chézy sur la rigole de Courpalet. Ces huit dernières présentaient une lacune très-importante : la vitesse moyenne n'avait pas été mesurée directement et devait être déduite par le calcul de la vitesse à la surface, seule donnée par Dubuat. « Aussi, dit M. de Prony[4], l'em-« barras était d'assigner pour ces huit expériences des vitesses « moyennes d'une exactitude comparable à celle obtenue

[1] *Recueil de cinq tables*, 1825, table n° 2.
[2] *Principes d'hydraulique*, t. II, art. 377.
[3] *Principes d'hydraulique*, t. II, art. 404.
[4] *Recherches physico-mathématiques*, p. 81.

« dans les vingt-trois expériences auxquelles on les réunis-« sait. » La difficulté était, en effet, assez sérieuse, et même, avec les données dont disposait M. de Prony, elle était réellement insoluble. Afin d'utiliser ces huit expériences, M. de Prony déduisit la vitesse moyenne de la vitesse à la surface, en se servant des observations faites par Dubuat sur ses petits canaux en bois pour rechercher la relation entre ces deux vitesses; cette relation dépendant aussi, comme on le verra plus loin, de l'état de la paroi, l'extension aux canaux en terre des résultats obtenus sur des canaux en bois ne pouvait qu'introduire de nouvelles erreurs. La formule de M. de Prony repose donc presque en entier sur les expériences faites par Dubuat dans des canaux en bois de très-petites dimensions.

M. Eytelwein a joint à 36 expériences de Dubuat, 55 expériences d'hydrauliciens allemands, savoir : 4 de Woltmann, 16 de Brünings et 35 de Funk; presque toutes ont été faites sur de grands cours d'eau.

Celles de Brünings, exécutées sur les bras du Rhin en 1790 et 1792, présentent une lacune très-regrettable. Entreprises dans le but de déterminer la répartition du débit total du Rhin entre ses différents bras, elles ne comprenaient pas, à ce qu'il paraît, la mesure de la pente superficielle du cours d'eau, qui était étrangère au but principal des expériences. Les valeurs attribuées aux pentes dans l'ouvrage de Funk[1], et reproduites par Eytelwein, ont été déterminées postérieurement par le calcul et à l'aide de nivellements faits en 1797. Les expériences de Funk sur le Weser présentent, quoique à un moindre degré, quelque incertitude sur les pentes, qui paraissent avoir été remaniées et

[1] *Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst*, 1808, p. 97.

coordonnées par le calcul[1]. En introduisant dans la formule de M. de Prony, déduite d'expériences sur de petits canaux en bois, les résultats plus ou moins contestables des nombreuses expériences sur les grands cours d'eau, M. Eytelwein a donc rapproché et confondu deux ordres de faits très-dissemblables, et sa formule doit être abandonnée, aussi bien que toutes celles qui ont été plus tard déduites des mêmes données expérimentales.

On voit par ce qui précède que les coefficients de la formule Formule nouvelle.

$$RI = aU + bU^2$$

sont variables à l'infini suivant la nature de la paroi dans laquelle s'opère l'écoulement. Il ne s'agit plus de savoir si le coefficient b doit être 0,000309 comme l'a trouvé M. de Prony, ou 0,000366 comme l'a proposé Eytelwein, ou 0,000400 comme l'ont admis d'autres auteurs. Ce coefficient peut varier de 0,000130 à 0,002500 et plus. Une autre question se présente maintenant. La formule peut-elle être conservée sous sa forme actuelle en y joignant une table qui donne les valeurs de a et b spéciales à chaque cas, ou bien la forme même de l'expression $aU + bU^2$ doit-elle être modifiée? Dubuat ayant remarqué que $\frac{RI}{U^2}$ diminue tout en convergeant vers une limite finie lorsque la vitesse augmente dans un même canal, on peut poser

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + f(R, U)$$

α étant une constante et $f(R, U)$ une fonction du rayon moyen et de la vitesse, qui tend vers zéro à mesure que ces quantités augmentent.

[1] Voir à ce sujet la discussion de Hagen : *Handbuch der Wasserbaukunst*, 1844, 2e partie, t. I, p. 302, 304.

Les deux formes les plus simples que l'on puisse donner à $f(R, U)$ sont :

$$\frac{\beta}{U} \text{ et } \frac{\beta'}{R}, \ \beta \text{ et } \beta' \text{ étant deux constantes.}$$

La première conduit à l'expression binôme de M. de Prony, la deuxième à la formule

$$RI = \left(\alpha + \frac{\beta'}{R}\right) U^2$$

adoptée par M. Darcy pour les tuyaux de conduite. L'expérience seule peut décider à laquelle de ces deux expressions il convient de donner la préférence. Admettons d'abord que l'on fasse couler dans un même canal, de pente et de dimensions invariables, différents volumes d'eau, et examinons laquelle des deux formules représente le mieux l'ensemble des expériences. Cette comparaison est facile à faire, soit par le calcul, soit plus simplement encore par une construction graphique. Supposons deux axes de coordonnées rectangulaires : soit, pour une expérience, Y la valeur obtenue pour $\frac{RI}{U^2}$ et X celle de $\frac{1}{U}$. Cette expérience pourra être figurée par un point qui aura pour ordonnée Y et pour abscisse X, et si l'équation binôme

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{U}$$

est exacte, tous les points obtenus devront être sur une même ligne droite ayant pour équation

$$Y = \alpha + \beta X$$

En prenant encore $\frac{RI}{U^2}$ pour ordonnée et $\frac{1}{R}$ pour abscisse, on constatera de même le plus ou moins d'exactitude de la formule

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$$

Cette comparaison graphique[1] fait voir que les deux formules représentent également bien les résultats de l'expérience, car on obtient dans les deux cas une ligne sensiblement droite. Si l'on cherche seulement à relier entre elles les expériences faites sur un même canal ayant une pente invariable, il n'existe donc aucun motif pour modifier l'expression binôme adoptée par M. de Prony; mais si, passant à un cas plus général, on vient à comparer des expériences faites sur des pentes différentes, il n'en est plus de même. Considérons plusieurs canaux entièrement semblables quant à leur section transversale et à la nature de leurs parois, et différant seulement par la pente; faisons couler dans chacun d'eux plusieurs volumes d'eau différents, et cherchons à grouper les résultats obtenus à l'aide de la construction graphique qui vient d'être indiquée. L'ensemble des expériences faites sur chacun des canaux se trouve représenté par une ligne droite. Si les coefficients α et β étaient complétement indépendants de la pente, les lignes droites obtenues pour les divers canaux devraient coïncider. Cette coïncidence n'a pas lieu, et l'on remarque que chaque série d'expériences est représentée par une ligne distincte.

En se plaçant à un point de vue complétement rigoureux, on peut donc dire que ni l'une ni l'autre des deux expressions $\alpha+\frac{\beta}{R}$ et $\alpha+\frac{\beta}{U}$ n'est apte à représenter les phénomènes dans toute leur généralité. Mais il ne s'agit pas ici d'une solution mathématiquement rigoureuse, il s'agit seulement de savoir si l'une ou l'autre peut être employée avec une approximation suffisante.

[1] Voir 2e partie, chap. I; voir également la planche VIII qui contient la représentation graphique des cinq séries nos 2, 3, 4, 5 et 7.

Si l'on considère d'abord l'expression $\alpha+\frac{\beta}{R}$, on remarque que les lignes droites correspondantes aux différents canaux, bien que ne coïncidant pas d'une manière complète, ne sont cependant pas fort éloignées les unes des autres[1]. Dans la plupart des cas, on les voit s'éloigner progressivement de l'axe des abscisses à mesure que l'on augmente la pente du canal; mais il n'en est pas toujours ainsi; l'écart est rarement assez grand pour qu'il y ait inconvénient à les remplacer dans la pratique par une ligne unique.

Les choses se passent tout autrement pour l'expression $\alpha+\frac{\beta}{U}$. A mesure que l'on augmente la pente du canal, on voit, dans tous les cas, les lignes s'éloigner rapidement de l'axe des abscisses, et leur inclinaison sur cet axe croître en même temps. La variation des deux coefficients avec la pente a donc lieu cette fois toujours dans le même sens, et ils augmentent tous deux rapidement avec elle, sans que l'on puisse assigner de limite à cette augmentation. Nous avons eu occasion de constater que, dans certains cas, la formule obtenue pour une pente de $0^m,0015$ par mètre conduisait, pour une pente de 0,009, à des erreurs de plus d'un tiers sur la valeur de la vitesse. L'erreur aurait encore été plus grande pour des pentes supérieures à 0,009. La formule binôme usitée jusqu'à ce jour est donc tout à fait impropre à représenter les phénomènes et doit être abandonnée. Celle qu'a donnée M. Darcy pour les tuyaux de conduite satisfait beaucoup mieux aux exigences de la pratique.

Influence de la forme de la section transversale du canal sur l'écoulement.

Nous n'avons pas encore parlé d'un élément qui n'est pas sans influence sur l'écoulement, sans avoir cependant au-

[1] Voir 2e partie, chap. I; et voir également, pour la représentation graphique, la planche IX.

tant d'importance que la nature de la paroi. La figure du profil transversal ne saurait être indifférente, et l'on doit s'attendre à trouver des différences notables dans les phénomènes, suivant que ce profil sera un rectangle, un trapèze, un demi-cercle, etc. Toutefois ces différences ne sont pas aussi marquées qu'on pourrait le croire au premier abord. Des expériences comparatives [1] ont été faites à ce sujet sur des canaux en planches; les sections rectangulaires, trapézoïdales et triangulaires ont conduit à des résultats presque identiques, c'est-à-dire que les vitesses moyennes ont été sensiblement égales dès que le rayon moyen et la pente étaient semblables. Mais si l'on passe des sections polygonales à une section demi-circulaire, on constate une différence assez notable. Le débit d'un canal demi-circulaire a été trouvé supérieur d'environ un dixième à celui d'un canal rectangulaire, toutes circonstances égales d'ailleurs. On n'a guère occasion, il est vrai, de rencontrer dans la pratique des canaux présentant un profil transversal curviligne et parfaitement régulier; on peut en excepter toutefois les profils ovoïdes adoptés maintenant pour la construction des égouts. Le fond de ces égouts diffère peu d'un canal demi-circulaire. Outre l'avantage de ne présenter aucun angle rentrant, cette figure a donc encore celui de fournir à égalité de pente et de rayon moyen le plus grand débit.

Formules pratiques

Laissons de côté ce cas particulier, et revenons au cas général. Nous avons établi plus haut que la formule binôme ne peut être conservée. L'établissement de formules nouvelles présente de grandes difficultés, puisque les coefficients varient avec la pente, la figure du profil transversal

[1] Voir 2e partie, chap. II, séries nos 18 à 27.

et la nature de la paroi. Les deux premiers éléments n'ont pas une influence bien grande et peuvent être négligés dans la plupart des cas de la pratique qui n'exigent pas une approximation rigoureuse; mais, en les écartant, nous avons encore à tenir compte de la nature de la paroi. La difficulté est grande puisqu'il s'agit d'un élément variable à l'infini, qui échappe par sa nature à toute appréciation théorique. Nous avons essayé de la résoudre en groupant les expériences en catégories peu nombreuses, correspondant, autant que possible, aux cas les plus ordinaires de la pratique. Ces catégories sont au nombre de quatre :

1° Parois très-unies : ciment lissé, bois raboté avec soin, etc.

2° Parois unies : pierres de taille, briques, planches, etc.

3° Parois peu unies, en maçonnerie de moellons;

4° Parois en terre.

On ne saurait évidemment tracer une ligne de démarcation précise entre ces diverses catégories, et l'on peut établir des cas intermédiaires.

En représentant pour abréger $\frac{RI}{U^2}$ par A, la formule que nous proposons se réduit à

$$RI = AU^2$$

Les valeurs de A seront pour chaque catégorie [1],

1re Catégorie, $A = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$

2e Catégorie, $A = 0{,}00019\left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$

3e Catégorie, $A = 0{,}00024\left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$

4e Catégorie, $A = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$

On trouvera à la fin du volume ces formules réduites en

[1] Voir 2e partie, chap. IV.

tables, d'une construction fort simple, qui donnent pour chaque valeur du rayon R la valeur correspondante de A et de $\frac{1}{\sqrt{A}}$.

On peut regretter de voir substituer à une formule unique une formule nouvelle à coefficients variables; mais l'indétermination des coefficients est un inconvénient inhérent à la nature des phénomènes, et les progrès ultérieurs de la théorie ne pourront jamais la faire disparaître. Il est d'ailleurs bien peu de lois physiques dont l'expression ne soit affectée d'une semblable indétermination; presque toutes contiennent un coefficient arbitraire dépendant uniquement de la nature des corps soumis à l'expérience. Dans la pratique de l'art des constructions, il en est toujours ainsi, et les formules rigoureuses, au point de vue théorique, ne fournissent plus, lorsqu'on en vient aux applications, que des limites qui doivent guider le choix de l'ingénieur, sans cependant le déterminer d'une manière complète.

Cas particulier d'un canal très-petit.

Les formules précédentes ne sont pas applicables à un cas, assez rare, il est vrai, dans la pratique, mais qui présente, au point de vue théorique, un certain intérêt; c'est celui d'un canal très-petit dans lequel le rayon moyen descend au-dessous de $0^m,03$. L'expérience conduit alors à la relation très-simple[1]

$$\frac{RI}{U} = \beta$$

β étant une constante; la valeur de β augmente assez notablement avec la pente I; mais si l'on considère un seul canal dans lequel I est constant, on voit que la vitesse U varie simplement comme le rayon moyen.

[1] Voir 2e partie, chap. II, séries nos 28 à 31.

Dans ses expériences sur les tuyaux de conduite[1], M. Darcy avait constaté un fait analogue. En opérant sur des tuyaux d'un petit diamètre, il a également trouvé le rapport $\frac{RI}{U}$ constant pour chaque tuyau; c'est alors le rayon R qui devient constant, et la pente I qui varie d'une expérience à l'autre. L'analogie entre les deux ordres de phénomènes n'est donc pas aussi complète qu'elle le paraît au premier abord.

2° EXPÉRIENCES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS LES COURANTS.

Rapport de la vitesse moyenne et de la vitesse maxima.

M. de Prony a donné pour déduire la vitesse moyenne U de la vitesse maxima V l'équation

$$\frac{U}{V}=\frac{V+2,37}{V+3,15}$$

On simplifie le plus souvent cette expression en prenant

$$U=\frac{4}{5}V$$

Cette formule ne tient aucun compte de la nature de la paroi. Nous avons vu plus haut combien l'influence de cet élément est grande; il est donc difficile d'admettre qu'elle n'affecte pas également la valeur du rapport $\frac{U}{V}$. M. de Prony lui-même s'est posé une semblable objection. « Je dois, dit-« il[2], faire remarquer une circonstance qui peut faire re-« garder cette formule comme une simple règle de calcul « empirique, et qui tient à ce que, les observations semblant « indiquer qu'on peut déterminer U par V indépendamment « de la figure, de la grandeur, de la pente, etc. du canal, « elle n'en tient aucun compte. Il est cependant difficile

[1] *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*, 1857, p. 75 et 210.

[2] *Recherches physico-mathématiques*, p. 79.

« d'admettre que ces divers éléments n'aient aucune in-« fluence.....; mais il fallait pourvoir d'abord aux besoins « de la pratique par des règles suffisamment exactes pour « les cas qu'elle a à traiter. »

Les doutes de M. de Prony étaient parfaitement fondés. La formule précédente est complétement inexacte, et conduit dans la plupart des cas à des valeurs trop fortes de $\frac{U}{V}$. Bien loin d'être à peu près constant et peu différent de $\frac{4}{5}$, comme on le suppose habituellement, ce rapport peut varier dans des limites très-étendues. Si l'on interroge l'expérience, et que l'on détermine sa valeur pour différentes natures de parois, on remarque bientôt qu'elle va en diminuant à mesure que la résistance de la paroi augmente[1]. Elle est en effet de 0,80 à 0,85 dans des canaux très-unis en ciment; dans des canaux en maçonnerie de moellons elle n'est plus que de 0,70 à 0,75; enfin dans des canaux en terre elle s'abaisse encore et peut descendre au-dessous de 0,60. On voit à quelles erreurs on peut s'exposer en adoptant la valeur unique 0,80.

Le rapport $\frac{U}{V}$ variant avec la résistance à la paroi, il paraît naturel de le faire dépendre du coefficient $\frac{RI}{U^2}$ qui en est, en quelque sorte, l'expression la plus simple. Si l'on fait pour abréger $\frac{RI}{U^2} = A$, la discussion des expériences conduit à poser

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{A}}$$

$\frac{U}{V}$ converge vers l'unité à mesure que A diminue; il était facile de le prévoir *a priori*. La résistance de la paroi est en effet la cause des inégalités de vitesse qui existent entre les

[1] Voir 3e partie, chap. I.

différentes parties d'un courant, et, si cette résistance venait à disparaître, toutes les vitesses deviendraient égales.

L'équation précédente peut encore s'écrire sous la forme très-simple

$$V - U = 14\sqrt{RI}$$

et sous cette forme elle fait voir que la différence absolue entre la vitesse moyenne et la vitesse maxima est proportionnelle à $\sqrt{RI}$.

On trouvera à la fin du volume une table calculée à l'aide de la formule précédente et donnant immédiatement les valeurs de $\frac{U}{V}$ correspondant aux valeurs de A.

Une autre table donne, pour chacune des quatre catégories de parois, la valeur de $\frac{U}{V}$ correspondant à chaque valeur du rayon moyen R.

L'examen de cette dernière table fait parfaitement voir comment varie ce rapport. Pour les petites valeurs de R il est extrêmement variable suivant la nature de la paroi; si $R = 0^m,10$, par exemple, on a $\frac{U}{V} = 0,84$ pour les parois très-unies, et 0,54 seulement pour les parois en terre; mais, à mesure que les dimensions du canal augmentent, cette différence tend peu à peu à s'effacer : pour $R = 0^m,50$ les valeurs extrêmes de $\frac{U}{V}$ sont 0,85 et 0,70; pour $R = 3^m,00$ elles deviendraient 0,85 et 0,78.

Répartition des vitesses dans l'intérieur des courants.

La répartition des vitesses dans l'intérieur d'un courant est la question la plus délicate que soulève l'étude de l'écoulement dans les canaux. La connaissance exacte des lois suivant lesquelles s'opère cette répartition peut seule servir de base à une théorie mathématique. Malheureusement cette étude présente les plus grandes difficultés.

Le mouvement de l'eau dans un canal est beaucoup plus compliqué qu'il ne le paraît au premier abord. Si l'on ob-

serve la vitesse en un point déterminé, on ne tarde pas à s'apercevoir qu'elle varie à chaque instant. Ces variations sont subites : elles s'opèrent par soubresauts très-vifs, et sont accompagnées de petits changements de niveau dans la surface. Ces fluctuations continuelles ont déjà été signalées par plusieurs observateurs, et M. Baumgarten [1] les a constatées sur la Garonne à l'aide du moulinet. Appréciables même par un instrument comme le moulinet, qui doit fonctionner pendant un certain nombre de secondes avant de fournir une indication, elles le sont bien plus encore à l'aide des instruments qui accusent, comme le tube jaugeur de M. Darcy, la vitesse, par une impulsion vive, exercée pendant un temps très-court. On voit alors qu'elles sont presque instantanées, qu'elles constituent de véritables ruptures d'équilibre qui se reproduisent périodiquement. La vitesse en un point donné n'est donc qu'une véritable abstraction ; c'est une sorte de moyenne entre des vitesses fort différentes qui se succèdent rapidement. L'écoulement n'est pas un phénomène continu, et l'hypothèse simplificative du mouvement par filets parallèles, imaginée dans le but de soumettre les faits au calcul, est très-éloignée de la vérité. Un filet, c'est-à-dire une série de molécules se suivant dans une même direction avec des vitesses égales, ne peut subsister que pendant un temps très-court, et se trouve inévitablement détruit par les échanges constants de molécules qui doivent s'opérer entre lui et ses voisins, et par les mouvements obliques qui en résultent. Ces mouvements irréguliers paraissent se produire de préférence dans les grandes sections : mais c'est surtout aux environs de la surface que les variations, ou, si l'on veut, le désordre des vitesses, sont

[1] Voir le Mémoire de M. Baumgarten inséré dans les Annales des Ponts et Chaussées, année 1847.

le plus remarquables. On sait que la vitesse à la surface du courant est habituellement moindre qu'à une certaine profondeur au-dessous. La résistance de l'air ne suffit pas pour expliquer cette décroissance aux abords de la surface, car elle persiste, même avec un vent d'amont qui devrait accélérer le mouvement des couches superficielles [1].

Une expérience curieuse démontre que c'est en effet dans les mouvements tumultueux du fluide aux environs de la surface qu'il faut chercher l'explication de ce fait singulier.

Supposons un tuyau dont la section transversale soit rectangulaire, l'un des côtés du rectangle étant disposé horizontalement, et l'autre, dont nous désignerons la hauteur par h, verticalement. Faisons-y couler un certain volume d'eau, de telle sorte que l'écoulement s'opère sous une certaine charge, et que la section soit complétement remplie. Soit I la perte de charge ou pente par mètre. Enlevons maintenant la paroi supérieure du tuyau de manière à en faire un canal à ciel ouvert, réglons-en le fond suivant la pente I, et faisons couler dans ce canal un volume d'eau tel que la surface du courant atteigne exactement le centre en s'élevant à une hauteur $\frac{h}{2}$ au-dessus du fond. Il est clair que ce courant peut être considéré comme l'une des deux moitiés de celui qui passait dans le tuyau complet; et si l'on étudie dans les deux cas la distribution des vitesses, on devrait s'attendre à trouver une similitude complète. On va voir qu'il n'en est rien.

L'expérience a été réalisée en 1857 [2], à l'aide d'un tuyau rectangulaire de $0^m,40$ de hauteur sur $0^m,80$ de largeur; elle a été renouvelée en 1859, en réduisant les deux dimensions

[1] Voir à ce sujet l'ouvrage de M. Boileau : *Traité de la mesure des eaux courantes*, 1854, pages 313 et suivantes.

[2] Voir 3e partie, chap. II, séries 51 à 52.

précédentes dans le rapport de 5 à 3; la distribution des vitesses dans le tuyau complet a présenté une parfaite régularité; elles se sont réparties suivant des rectangles concentriques à la paroi et légèrement arrondis vers les angles. A ciel ouvert cette répartition était totalement modifiée; les courbes d'égale vitesse (c'est-à-dire les courbes obtenues en joignant les points animés d'une même vitesse dans la section transversale), au lieu d'être des rectangles arrondis, présentaient une courbure elliptique très-prononcée, et s'infléchissaient aux abords de la surface en indiquant que le maximum de vitesse était placé un peu au-dessous.

La vitesse moyenne se trouvait plus près des parois que dans le tuyau; en un mot le phénomène était complétement modifié. Un changement aussi considérable ne peut être attribué à la résistance de l'air, qui était à peu près nulle, mais aux mouvements intérieurs du fluide. Dans un tuyau la symétrie et l'invariabilité de la section établissent entre toutes les molécules du courant une sorte de solidarité, qui contribue à régulariser les vitesses; à ciel ouvert, au contraire, l'absence de pression sur la surface du courant, le défaut de symétrie de la section qui peut librement augmenter ou diminuer au milieu des secousses incessantes dont aucun courant n'est exempt, favorisent sans doute la production de ces mouvements tumultueux dans les couches supérieures.

Quoi qu'il en soit, il est certain qu'il existe une différence profonde entre l'écoulement dans un tuyau et l'écoulement à air libre. La connaissance des mouvements compliqués qui s'opèrent aux environs de la surface est très-difficile à obtenir; c'est là, selon nous, l'écueil contre lequel viendront échouer toutes les théories mathématiques de l'écoulement dans un canal.

Cas particulier d'un canal rectangulaire très-large et d'un canal demi-circulaire.

On peut voir, par les nombreuses planches à la fin de l'ouvrage[1], combien la distribution des vitesses est compliquée, et combien elle paraît varier dans chaque cas particulier. Peut-être le problème, pris dans toute sa généralité, n'est-il pas susceptible d'une solution rigoureuse. Deux cas simples conduisent seuls à un résultat un peu précis, ce sont[2] :

1° Un canal rectangulaire de largeur indéfinie, dans lequel l'action des parois latérales peut être complétement négligée ;

2° Un canal demi-circulaire.

Dans le premier cas, les courbes d'égale vitesse sont des lignes droites parallèles au fond ; dans le second, ce sont des cercles concentriques à la paroi. La complication qu'introduit nécessairement le contour discontinu des sections rectangulaires et trapézoïdales se trouve ici mise de côté, et la loi de décroissance des vitesses peut être représentée par une formule, du moins tant que la vitesse d'écoulement est assez grande ; car dès qu'elle descend au-dessous d'une certaine limite, le maximum de vitesse n'est plus à la surface, et l'on retombe dans une nouvelle complication.

Considérons d'abord le canal rectangulaire de largeur indéfinie. Si l'on désigne par V la vitesse à la surface, par v la vitesse en un point situé à la profondeur h, par H la profondeur totale, par I la pente, et enfin par K un coefficient numérique constant, la discussion des expériences conduit à l'expression fort simple

$$V - v = K\sqrt{HI}\left(\frac{h}{H}\right)^2$$

La valeur de la constante K paraît devoir être environ $K = 24$.

La courbe des vitesses, c'est-à-dire la courbe que l'on

[1] Voir les planches XIX à XXIII. — [2] Voir 3e partie, chap. IV.

obtient en prenant pour abscisse la distance d'un point à la surface, et pour ordonnée la vitesse en ce point, est donc une parabole du second degré.

Dans le canal demi-circulaire, si l'on représente de même par V la vitesse à la surface, par v la vitesse en un point situé à la distance r du centre, par R le rayon total, et enfin par K une constante, on parvient à la formule

$$V - v = K\sqrt{RI}\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

La valeur de la constante K est dans ce cas égale à 21.

En opérant sur les tuyaux de conduite, M. Darcy a obtenu, en 1851, l'équation un peu différente

$$V - v = K\sqrt{RI}\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3}{2}}$$

dans laquelle il a fait $K = 11,3$.

Ces formules paraissent contradictoires, elles prouvent une fois de plus que l'écoulement à ciel ouvert ne peut être assimilé à l'écoulement dans un tuyau fermé.

La diversité de ces résultats est singulière, et paraîtrait indiquer que les hypothèses faites jusqu'à ce jour sur l'action mutuelle de deux filets fluides sont encore bien incomplètes, et ne peuvent servir de base à une théorie mathématique de l'écoulement.

Si l'on admet l'existence de filets fluides glissant les uns sur les autres, l'action mutuelle de deux filets contigus doit dépendre de leur vitesse relative, ou, comme leur distance est censée infiniment petite, de l'expression différentielle $\frac{dv}{dr}$, dans laquelle dv désigne la différence des vitesses des deux filets, et dr leur distance.

Dans un mémoire publié dans le tome VI des Mémoires de l'Académie des sciences, M. Navier a supposé cette action mutuelle, que nous désignerons pour abréger par φ, sim-

plement proportionnelle à $\frac{dv}{dr}$. M. Hippolyte Sonnet a publié, en 1845, un mémoire sur le même objet, en étendant un peu l'hypothèse restreinte de Navier. « M. Navier, dit « M. Sonnet, est, à ma connaissance, le seul géomètre qui se « soit occupé du problème des eaux courantes dans toute sa « généralité..... Malheureusement il n'a déduit de ses cal- « culs qu'un très-petit nombre de résultats applicables, sa- « voir : une expression monôme de la vitesse moyenne pour « un tuyau à section circulaire ou rectangulaire très-petite; « et pour un canal découvert à section rectangulaire, une ex- « pression également monôme du rapport $\frac{U}{V}$ entre la vitesse « moyenne et la plus grande vitesse. Cette expression assi- « gnerait au rapport dont nous parlons les limites 0,4053 et « 0,6366, et ne s'accorde pas par conséquent avec les résul- « tats de l'expérience; ce qu'il faut attribuer sans doute aux « hypothèses trop restreintes sur lesquelles l'auteur a fondé « son analyse [1]. »

Les formules auxquelles est parvenu M. Sonnet ne s'accordent pas non plus avec les résultats de l'expérience. Suivant elles, en effet[2], la différence entre la vitesse à la surface et la vitesse à la paroi serait proportionnelle à R^2I; tandis que toutes les données expérimentales s'accordent pour indiquer que cette différence et les vitesses elles-mêmes sont proportionnelles à $\sqrt{RI}$. Dans un ouvrage, remarquable à bien des titres[3], M. Dupuit, partant de l'hypothèse de Navier, est parvenu à des formules analogues aux précédentes et soulevant par conséquent les mêmes objections pratiques.

[1] *Recherches sur le mouvement uniforme des eaux*, 1845, p. 2.
[2] *Ibid.* p. 13 et 28.
[3] *Études théoriques et pratiques sur les eaux courantes*, 1848.

Les expériences de M. Darcy sur les tuyaux de conduite l'ont amené à supposer φ proportionnel à $R^2\left(\frac{dv}{dr}\right)^2$. Cette nouvelle expression, indépendamment du changement de l'exposant de $\frac{dv}{dr}$, introduit dans la question un nouvel élément fort important et assez inattendu : c'est l'influence de la grandeur de la section transversale. Il est difficile de se rendre compte d'une manière bien satisfaisante de cette influence; toutefois, elle a été pressentie par plusieurs auteurs, et notamment par M. de Saint-Venant.

« Si l'hypothèse de Newton, dit M. de Saint-Venant [1], « reproduite par MM. Navier et Poisson, et qui consiste à « prendre le frottement intérieur proportionnel à la vitesse « relative des filets glissant les uns devant les autres, peut « être appliquée approximativement pour les divers points « d'une même section fluide, tous les faits connus portent à « inférer qu'il faut faire croître le coefficient de cette pro- « portionnalité avec les dimensions des sections transver- « sales; ce qui s'explique jusqu'à un certain point en remar- « quant que les filets ne marchent pas parallèlement entre eux « avec des vitesses régulièrement graduées de l'un à l'autre, « et que les ruptures, les tourbillonnements et les autres « mouvements compliqués ou obliques, qui doivent beau- « coup influer sur la grandeur des frottements, se forment « et se développent davantage dans les grandes sections. »

Les formules que nous avons indiquées plus haut paraissent encore conduire à de nouvelles hypothèses sur la valeur de φ.

Il semblerait, en effet, d'après ces formules, que l'action mutuelle de deux filets fluides contigus dépend non-seule-

[1] *Formules et tables nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes*, 1851, p. 49.

ment du coefficient $\frac{dv}{dr}$, comme l'a indiqué M. Navier, et des dimensions absolues de la section, comme l'a fait voir M. Darcy pour les tuyaux, mais encore des vitesses absolues des molécules fluides.

La question se complique et s'obscurcit donc davantage, à mesure que de nouvelles expériences plus nombreuses et plus précises paraîtraient devoir y jeter une plus grande lumière. Que conclure de ces résultats si divers et en apparence contradictoires, si ce n'est que nous ne possédons pas encore de notions saines sur les mouvements intérieurs des fluides et sur les actions mutuelles de leurs molécules? Peut-être cette partie si délicate de la science doit-elle rester longtemps encore dans le domaine de l'empirisme.

3° EXPÉRIENCES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

Formule fondamentale : détermination du coefficient α.

La formule fondamentale que l'on applique lorsque le régime du courant n'est plus uniforme a été proposée, en 1828, presqu'en même temps, par M. Bélanger et par M. le général Poncelet; elle est ordinairement mise sous la forme suivante

$$\zeta = \alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g} + \int \frac{aU + bU^2}{R} ds$$

ζ désigne l'abaissement de la surface du courant entre deux points où les vitesses moyennes sont U'' et U', α un coefficient inconnu, que l'on suppose un peu plus grand que l'unité. L'expression $aU + bU^2$ et la lettre R ont la même signification que dans la formule connue du mouvement uniforme; ds désigne la longueur d'un élément du courant compris entre deux sections transversales infiniment voisines; l'intégrale est prise entre les sections extrêmes qui limitent la partie du courant que l'on considère.

Cette formule suppose que l'expression de la résistance

est la même que dans le cas du régime uniforme; cette hypothèse, admissible dans le cas d'un courant lentement varié, ne le serait certainement plus si le régime variait trop rapidement. Un autre élément d'incertitude est l'ignorance où l'on est relativement à la vraie valeur du coefficient α. Ce coefficient est égal à $\frac{\Sigma\omega u^3}{\Omega U^3}$, $\Sigma\omega u^3$ étant la somme des produits élémentaires que l'on obtient en multipliant chaque élément de la section transversale par le cube de la vitesse correspondante, et ΩU^3 le produit de l'aire entière de la section par le cube de la vitesse moyenne. M. Poncelet a démontré[1] que α est supérieur à l'unité; mais on ignore jusqu'à présent sa véritable valeur, et la plupart des auteurs ont pris le parti de le supposer égal à l'unité.

D'après M. Dupuit[2], les vitesses U'' et U' qui entrent dans le second membre de l'équation devraient être affectées de coefficients différents, et le coefficient α qui multiplie leur différence devrait, en raison de cette correction, devenir plus petit que l'unité.

Disposant d'un grand nombre d'expériences faites pour déterminer la répartition des vitesses dans l'intérieur des courants, nous avons pu calculer directement[3], élément par élément, une assez grande quantité de valeurs de α.

Conformément aux indications de la théorie, α augmente à mesure que les vitesses sont plus différentes les unes des autres, c'est-à-dire à mesure que la résistance de la paroi augmente elle-même.

On satisfait assez bien aux expériences en posant

$$\alpha = 1 + \beta \frac{RI}{U^2}$$

[1] *Expériences hydrauliques*, 1832, p. 167.

[2] *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes*, 1848, p. 70 et suiv.

[3] Voir 4e partie, chap. 1.

La valeur de la constante β est environ 210. En combinant cette formule avec l'équation

$$V - U = 14\sqrt{RI}$$

on peut aussi poser

$$\alpha = 1 + 1{,}07\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2$$

et, sous cette forme, on voit clairement que α va en augmentant avec l'écart des vitesses V et U.

Si l'on suppose $\frac{U}{V} = \frac{2}{3}$ et $\frac{U}{V} = \frac{4}{5}$, hypothèses qui comprennent la plus grande partie des cas de la pratique, cette formule donne $\alpha = 1{,}27$ et $\alpha = 1{,}07$.

La valeur de la constante $\beta = 210$ a été calculée en se servant d'expériences sur des courants à régime uniforme. En opérant de la même manière sur quelques expériences faites sur des courants dont le régime était varié (le niveau du courant était abaissé en allant de l'amont à l'aval), nous avons obtenu des valeurs un peu plus faibles; toutefois le nombre de ces dernières expériences n'est peut-être pas assez considérable pour trancher définitivement la question. La diminution de α dans ce cas s'explique facilement si l'on admet, comme l'a fait avec assez de vraisemblance M. Dupuit, que l'existence d'une chute superficielle a pour effet d'augmenter les vitesses de tous les filets à peu près également, de manière à rapprocher leurs rapports de l'unité.

On a quelquefois lieu de considérer, dans les calculs relatifs au mouvement varié, $\frac{\Sigma\omega u^2}{\Omega U^2}$ au lieu de $\frac{\Sigma\omega u^3}{\Omega U^3}$.

Ce nouveau coefficient se déduit sans peine de α, car si l'on fait

$$\frac{\Sigma\omega u^3}{\Omega U^3} = 1 + K$$

on a, à fort peu près,

$$\frac{\Sigma\omega u^2}{\Omega U^2} = 1 + \frac{1}{3}K = 1 + 70\frac{RI}{U^2}$$

La discussion de l'équation du mouvement varié conduit à partager les courants en deux catégories pour lesquelles les phénomènes du remou s'opèrent d'une manière différente, suivant que $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est plus petit ou plus grand que l'unité (h désigne ici la profondeur du courant). Supposons d'abord $\frac{\alpha U^2}{gh}$ inférieur à l'unité; c'est le cas de la plupart des cours d'eau naturels. Le remou de gonflement produit par un barrage se prolonge indéfiniment vers l'amont en formant une courbe asymptote à la surface du courant non relevé; il en est de même du remou d'abaissement. Lorsque $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est supérieur à l'unité, les phénomènes changent complétement de caractère. Le remou de gonflement, au lieu de se prolonger indéfiniment vers l'amont, s'arrête brusquement en un certain point, et se raccorde avec la surface du courant par un ressaut. Quant au remou d'abaissement, il n'existe plus, c'est-à-dire que, si par suite d'une modification quelconque du lit le niveau du courant se trouve abaissé sur un point, cette dépression ne se prolonge pas vers l'amont; la surface du courant présente donc en ce point une chute brusque, que l'on peut appeler ressaut d'abaissement.

La distinction que nous venons de rappeler est bien connue[1]; cependant la plupart des auteurs qui ont abordé cette question n'ont peut-être pas assez insisté sur ce caractère important qui partage les courants en deux classes parfaitement tranchées. Qu'il nous soit permis de faire ici, au sujet de la condition du ressaut $\frac{\alpha U^2}{gh} > 1$, un rapprochement qui, sans avoir la valeur d'une démonstration, n'en est pas

[1] Voir la discussion faite par M. Dupuit; *Études théoriques et pratiques*, chap. III; voir également une discussion plus détaillée dans l'ouvrage publié récemment par M. Bresse, *Cours de mécanique appliquée, hydraulique*, 1860, chap. IV.

moins assez curieux. En supposant pour plus de simplicité $\alpha = 1$, cette condition donne $U > \sqrt{gh}$; cette inégalité peut s'interpréter de la manière suivante.

Dans un mémoire publié en 1845[1], J. Scott Russell a fait voir que, si en un point d'un canal on projette subitement un certain volume d'eau, on donne naissance à une onde ou gonflement mobile qui parcourt le canal avec une vitesse égale à $\sqrt{gh}$ (h étant la profondeur). Cette onde, qui est tout entière en saillie au-dessus du niveau primitif de l'eau dans le canal, ne doit pas être confondue avec les ondes d'oscillation produites par l'agitation superficielle du liquide, qui sont toujours accompagnées de cavités correspondantes.

L'inégalité $U > \sqrt{gh}$ fait donc voir que la vitesse du courant est supérieure à la vitesse de propagation des ondes, de manière que celles-ci ne peuvent remonter vers l'amont. Cette circonstance fait comprendre la possibilité d'un ressaut brusque; les eaux du ressaut tendent sans cesse à s'affaisser en donnant naissance à une onde qui se propagerait vers l'amont; mais cette propagation n'est pas possible, l'onde étant immédiatement emportée par la grande vitesse du courant. Si cette vitesse était tout à coup diminuée de manière à devenir inférieure à la vitesse de propagation de l'onde, on verrait celle-ci se former et remonter le courant. Nous avons réalisé plusieurs fois cette expérience. Dès que la vitesse est un peu diminuée, on voit les eaux du remou se précipiter vers l'amont.

Le rapprochement que nous venons de faire n'a rien de rigoureux; néanmoins il présente quelque intérêt comme établissant une corrélation entre deux ordres de faits bien différents.

[1] *Report of the fourteenth meeting of the British association for the advancement of science*, held at York, in september 1844; London, 1845.

On trouvera dans la quatrième partie de l'ouvrage quelques expériences sur les divers cas du mouvement varié. Pour les courants dans lesquels $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est inférieur à l'unité, et où par conséquent le ressaut ne peut se produire, ces expériences, peu nombreuses d'ailleurs, n'ont pas conduit à des résultats notablement différents des formules admises.

La formule du mouvement varié a représenté convenablement les faits observés, en ayant soin d'y mettre pour α les valeurs indiquées plus haut, et d'y remplacer l'expression $aU + bU^2$ de la résistance à la paroi par l'expression AU^2; la formule devient ainsi :

$$\zeta = \alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g} + \int \frac{AU^2}{R} ds$$

Une difficulté se présente ici. Le coefficient A n'est sans doute pas le même que dans le cas du régime uniforme. Quelle valeur doit-on dès lors lui attribuer dans la formule du mouvement varié? Il y a là une certaine indétermination. Nous avons toutefois constaté que cette formule représentait assez exactement les faits observés, en y remplaçant A par la valeur de ce coefficient obtenue en laissant le courant dans son état naturel, c'est-à-dire sans en exhausser ou abaisser le niveau. Cette conclusion ne peut être acceptée comme définitive; mais il faudrait, pour éclaircir ce point douteux de la théorie, des expériences sur une plus grande échelle que la disposition des lieux ne nous permettait de le faire, et ces expériences présenteraient, pour être concluantes, d'assez grandes difficultés, car il faudrait opérer sur des courants d'un profil extrêmement régulier et d'une profondeur considérable.

Ressaut de gonflement.

Si l'on est arrêté par des difficultés matérielles en ce qui concerne les remous ordinaires, il n'en est plus de même du ressaut; c'est au contraire dans les canaux artificiels, où

les pentes sont considérables et les parois unies, qu'on peut le mieux l'étudier. Les canaux d'expérience réunissent le plus souvent les conditions nécessaires à la production de ce phénomène. En effet, si l'on combine la condition $\frac{\alpha U^2}{gh} > 1$ avec les formules que nous avons indiquées plus haut pour chaque nature de paroi, on arrive sans peine à reconnaître que pour chacune d'elles le ressaut est possible dès que la pente du canal dépasse une certaine limite, qui est d'environ 0,0015 pour les parois très-unies en ciment, 0,002 pour les parois en pierres de taille et en planches, 0,0025 pour la maçonnerie ordinaire, et 0,003 pour les canaux en terre.

Ces chiffres montrent suffisamment que le ressaut doit exister souvent dans les canaux d'expérience, auxquels on est obligé de donner des pentes assez fortes, et qu'au contraire il ne peut exister qu'exceptionnellement dans les cours d'eau naturels.

On a donc eu occasion, dans le cours des expériences qui font l'objet de cet ouvrage, d'observer un très-grand nombre de ressauts. La théorie de ce phénomène, signalé pour la première fois par Bidone [1], a été donnée par M. Bélanger, en 1828.

Mais il s'en faut de beaucoup que l'observation soit susceptible d'autant de précision qu'on pourrait le croire à la lecture du mémoire de Bidone; lorsque $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est peu supérieur à l'unité, le ressaut est fort allongé et présente l'aspect d'une contre-pente couverte d'ondulations. A mesure que $\frac{\alpha U^2}{gh}$ augmente, on le voit se raccourcir peu à peu et devenir de plus en plus accusé; dès que ce rapport dépasse 2 ou 2,50, il est parfaitement marqué, et, au lieu d'une simple

[1] *Mémoires de l'Académie de Turin*, année 1820, tome XXV.

contre-pente, on n'a plus qu'un relèvement subit de la surface, qui présente l'aspect d'une barre d'écume violemment agitée. Dans les expériences de Bidone $\frac{\alpha U^2}{gh}$ dépassait 4,00.

Le ressaut est toujours suivi de fortes ondulations qui se prolongent souvent jusqu'à une grande distance en aval, et qui ne permettent jamais d'en évaluer la hauteur avec précision. Ces ondulations sont plus élevées au milieu du courant que sur les bords; le ressaut lui-même présente la forme d'un arc dont la concavité est tournée vers l'amont. Il paraît sans cesse agité de mouvements violents, au milieu desquels sa hauteur et même sa position dans le canal varient à chaque instant.

Si l'on essaye d'appliquer à ce phénomène la formule générale du mouvement varié, on reconnaît sans peine que la hauteur du ressaut doit être un peu moindre que la différence $\alpha\frac{U''^2-U'^2}{2g}$ des hauteurs dues aux vitesses moyennes immédiatement en amont et en aval.

Il doit exister en effet une perte de hauteur qui se compose de deux parties bien distinctes. La première est due au frottement du liquide contre les parois; elle est sensible dans les ressauts allongés et négligeable dans les ressauts très-brusques. La deuxième est le résultat des mouvements tumultueux qu'éprouve le fluide par suite du changement subit de section; elle est très-appréciable pour les ressauts brusques, et l'on constate en effet que leur hauteur est notablement inférieure à $\alpha\frac{U''^2-U'^2}{2g}$.

L'exemple de ressaut le plus remarquable est celui qui a été constaté par M. Baumgarten sur le pont aqueduc de Crau. La hauteur verticale de ce ressaut était de $0^m,45$; la différence des hauteurs dues aux vitesses d'amont et d'aval étant de $0^m,56$, la perte de hauteur par suite du change-

ment brusque de section s'élevait donc à $0^m,11$, soit au cinquième de la hauteur totale.

Il n'est pas possible de pousser plus loin ce genre d'investigation, et de séparer dans chaque exemple particulier les deux éléments dont se compose la perte totale de hauteur, l'agitation violente du liquide après le ressaut s'opposant, comme nous l'avons dit, à toute mesure précise.

Ressaut d'abaissement.

Lorsqu'il existe dans le fond d'un canal réunissant les conditions nécessaires à la production du ressaut une chute déterminant un abaissement de la surface du courant, la formule générale n'indique plus rien, ce qui conduit à penser que cet abaissement ne peut se propager vers l'amont. Cette circonstance s'est réalisée souvent dans le cours des expériences, et l'on a pu constater qu'en effet aucun abaissement ne se manifeste dans la surface du courant en amont de la chute, qui s'opère d'une manière brusque et sur une très-petite longueur. C'est donc un véritable ressaut d'abaissement. Ce phénomène, qui se produit fréquemment, ne paraît cependant pas avoir été signalé jusqu'à présent; il n'est pas sans intérêt d'avoir constaté son existence.

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION DES APPAREILS ET DES PROCÉDÉS D'EXPÉRIMENTATION.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Disposition du vannage de prise d'eau.

1. La rigole dans laquelle ont eu lieu la plupart des expériences était placée le long du bief n° 57 du canal de Bourgogne, à peu de distance de l'écluse n° 56 (pl. I, fig. 1); d'une part elle communiquait avec le canal de Bourgogne, et de l'autre avec la rivière d'Ouche, à laquelle elle rendait les eaux qu'elle tirait du canal. La prise d'eau était située à 157 mètres en aval de l'écluse n° 56. Elle se composait de quatre vannes en tôle ayant chacune 1 mètre de largeur, et pouvant se lever de $0^m,40$. Les orifices étaient garnis de tôle, afin que l'écoulement s'opérât en mince paroi (pl. II, fig. 2 et 3).

On avait supposé d'abord que cet appareil suffirait pour obtenir un débit constant, mais les variations de niveau du bief, qui ne pouvait être alimenté d'une manière assez régulière à cause du passage des bateaux dans les écluses, ne permettaient pas, malgré les manœuvres des vannes, d'obtenir un débit rigoureusement constant. Pour parvenir à cette uniformité de débit, indispensable dans les expériences projetées, il fallut ajouter à l'appareil de prise d'eau les dispositions suivantes. A la suite des quatre vannes, et en tête de la rigole d'expérience, on établit une chambre à parois verticales revêtues en bois, ayant $5^m,40$ de largeur sur 14 mètres de longueur (pl. II). Cette chambre, dont le radier était

à $0^m,80$ en contre-bas du seuil des vannes de prise d'eau, était fermée du côté de la rigole par un second vannage composé de douze petites vannes en cuivre, glissant entre des coulisseaux également en cuivre (pl. II et III). Ces vannes se manœuvraient à la main à l'aide d'une tringle verticale munie d'une poignée, à l'exception de l'une d'elles, qui pouvait s'élever progressivement à l'aide d'une vis verticale. Leur seuil était à $0^m,40$ en contre-haut du fond de la chambre; chacune d'elles présentait, lorsqu'elle était complétement ouverte, une section carrée de $0^m,20$ de côté; l'écoulement s'opérait en mince paroi (pl. III, fig. 5 et 6).

Ces douze orifices étaient donc à peu à près semblables à l'orifice type expérimenté par MM. Poncelet et Lesbros, et, d'après les résultats obtenus par ces deux savants, le coefficient de la dépense aurait dû être 0,604; mais nous verrons plus loin que la contraction n'était pas complète, et que, en outre, l'impulsion du courant venant des vannes de prise d'eau augmentait notablement le débit, qui a dû être déterminé par des expériences de tarage spéciales.

2. A l'aide de ces dispositions, il était facile d'obtenir dans le débit une régularité presque parfaite. Un homme placé à côté des grandes vannes de prise d'eau était chargé de les manœuvrer de manière à maintenir constamment le niveau dans la chambre à $0^m,80$ au-dessus du centre des douze petits orifices en cuivre. Ce niveau était indiqué par des échelles placées sur trois côtés de la chambre. Un appareil spécial (pl. IV, fig. 9) accusait en outre, en les amplifiant, les moindres variations de niveau. Cet appareil se composait d'un flotteur en zinc lesté avec du plomb; à la partie supérieure était fixé un ruban passant sur deux poulies et tendu à son autre extrémité par un contre-poids; l'axe de l'une des poulies formait le centre d'un cadran de $0^m,32$ de diamètre; une aiguille métallique indiquait sur ce cadran le plus léger mouvement de rotation des poulies et, par suite, les moindres variations de niveau de la chambre. Le flotteur était enveloppé de tous côtés par une caisse verticale en bois; l'eau contenue dans cette caisse

ne communiquait avec celle de la chambre que par quelques petites ouvertures placées à la partie inférieure. Cette disposition avait pour but d'empêcher les soubresauts et les secousses irrégulières qui auraient sans cesse déplacé le flotteur, s'il eût été simplement abandonné, sans aucune précaution, à la surface de l'eau. En tenant les yeux fixés sur l'aiguille du cadran, l'agent qui manœuvrait les vannes pouvait maintenir la hauteur de l'eau constante à un ou deux centimètres près. L'éclusier chargé d'entretenir le bief du canal dans lequel se faisait la prise d'eau veillait aussi de son côté à ce que le niveau de ce bief restât invariable. Ce niveau était indiqué par trois échelles : l'une était placée un peu en aval de l'écluse n° 56, et les deux autres près des vannes de prise d'eau.

Disposition de la rigole d'expérience.

3. Immédiatement au-dessous des douze petites vannes commençait la rigole d'expérience; elle suivait parallèlement le canal sur 450 mètres de longueur, puis se détournait ensuite à gauche pour aller gagner la rivière d'Ouche, où elle versait ses eaux; sa longueur totale était de $596^{m},50$.

Elle était construite en planches de peuplier clouées longitudinalement et maintenues par des cadres espacés de $1^{m},50$ environ (pl. I, fig. 3). Sa largeur était partout de 2 mètres. Une chape imperméable l'enveloppait extérieurement, de manière à empêcher les pertes par infiltration dans le sol; cette chape était en terre argileuse pilonnée sur le fond, et en mortier hydraulique contre les parois verticales.

La pente de la rigole n'était pas uniforme sur toute sa longueur (pl. I, fig. 2); elle était de $0^{m},0049$ environ par mètre sur 200 mètres à partir de l'origine; puis de $0^{m},002$ par mètre jusqu'au delà de la partie courbe, c'est-à-dire sur 250 mètres de longueur; enfin la dernière partie, de $146^{m},50$ de longueur entre le canal et la rivière, avait une pente de $0^{m},0084$ par mètre.

Telle était la construction primitive de la rigole; elle n'a jamais été remaniée, et, lorsqu'il a fallu expérimenter sur des pentes ou des sections différentes, on a toujours eu soin de n'endommager

en rien le revêtement primitif. Les diverses constructions provisoires que nécessitaient les expériences se faisaient en planches. Pour modifier la pente on établissait, sur le plancher primitif, un nouveau plancher supporté par des traverses, et l'on remplissait l'intervalle de terre pilonnée, de manière qu'il ne pût y avoir de pertes d'eau en dessous. Les sections circulaires, trapézoïdales, etc. ont été établies de la même manière, en garnissant toujours de terre pilonnée tous les vides dans lesquels auraient pu se produire des pertes.

Procédés employés pour le nivellement de la surface du courant.

4. Le profil en long de la surface de l'eau dans chaque expérience était relevé de la manière suivante. Sur chacune des traverses supérieures des cadres en bois de la rigole se trouvaient trois clous servant de repères, l'un au milieu, les deux autres à $0^m,33$ de chaque côté. On mesurait avec soin la hauteur de chacun de ces trois repères au-dessus du fond de la rigole; on mesurait de même leur hauteur au-dessus de la surface de l'eau; la différence de ces hauteurs faisait évidemment connaître la profondeur du courant sur la verticale passant par chacun des trois repères.

Cette opération se faisait très-simplement à l'aide d'une règle à coulisse (pl. IV, fig. 7 et 8) terminée par une lame tranchante en fer; l'opérateur appuyait le talon de la règle sur la traverse, et la faisait ensuite glisser peu à peu dans la coulisse, jusqu'à ce que l'extrémité inférieure vînt affleurer la surface du courant. Ce procédé permettait de relever le profil avec une grande précision.

Avant de commencer chaque série d'opérations, on avait soin de procéder au nivellement exact du fond. Ce nivellement s'opérait d'une manière très-simple et très-exacte en établissant un barrage un peu en aval et remplissant d'eau la rigole. Lorsque cette eau était parfaitement calme, on mesurait à l'aide des règles à coulisse la profondeur de chaque point du plancher au-dessous de la surface. Cette opération se faisait avec le secours de tous les opérateurs réunis; dans le cas où le niveau de l'eau se serait abaissé d'une manière appréciable, il n'en pouvait résulter aucune er-

reur, les mesures étant toujours simultanées pour chaque partie du profil en long. On recommençait d'ailleurs plusieurs fois, afin d'écarter toute chance d'erreur.

On a vu précédemment que le vannage placé en tête de la rigole se composait de douze orifices carrés en cuivre. La plupart des séries d'expériences ont été faites en ouvrant successivement un, deux, trois..... douze orifices; la charge étant toujours la même, chaque série comprenait ainsi douze expériences faites avec des débits parfaitement invariables, ce qui facilitait beaucoup la comparaison des résultats. La valeur exacte de ces douze débits a été déterminée par des opérations de tarage fort longues, qui seront rapportées dans le chapitre suivant. Dans certaines circonstances on a opéré avec des débits intermédiaires, en n'ouvrant pas complétement l'un des orifices (*celui dont la vanne se manœuvrait à l'aide d'une vis*); mais les expériences faites dans ces conditions sont en petit nombre.

5. Nous venons d'expliquer par quels procédés on arrivait à relever exactement le profil en long et la profondeur en chaque point du courant. Le débit étant connu d'avance, d'après le nombre des orifices ouverts, on en déduisait immédiatement la vitesse moyenne. Mais il fallait en outre obtenir la vitesse en différents points de la section, et notamment la vitesse maxima. Cette dernière a toujours été déterminée par deux procédés, à l'aide de flotteurs et à l'aide du tube jaugeur de M. Darcy; quant aux vitesses en différents points de la section, elles ne pouvaient l'être qu'au moyen de ce dernier instrument. Mesure des vitesses. Flotteurs.

L'emploi des flotteurs exigeait d'assez grandes précautions; on s'est servi tantôt de simples pains à cacheter, tantôt de morceaux de bois ou de liége lestés avec du plomb de manière à affleurer la surface de l'eau (pl. IV, fig. 11 et 12). On notait à l'aide d'un compteur à pointage, indiquant les cinquièmes de seconde, le temps employé par chaque flotteur à parcourir un espace de 40 à 50 mètres; l'opération était répétée plusieurs fois; on ne tenait compte que de celles où le flotteur avait parfaitement suivi l'axe

du courant, et l'on prenait la moyenne de cinq ou six résultats au moins.

Tube jaugeur. Théorie et description sommaire.

6. Le tube jaugeur de M. Darcy a déjà été décrit par lui dans son ouvrage sur les fontaines de Dijon[1] et dans une notice insérée dans les Annales des ponts et chaussées[2]. Nous allons rapporter ci-après les parties les plus importantes de cette notice, renfermant la description et l'usage de cet instrument.

« Pitot, dit M. Darcy, fit, en 1732, à l'Académie des sciences, « une communication qui parut intéresser cette assemblée; il lui « présenta un appareil destiné à mesurer en un point donné la vi- « tesse d'un des filets fluides dont un courant se compose. Cet « appareil lui permit d'entrevoir un fait qui s'explique facilement « aujourd'hui, mais que l'on contestait alors sous l'inspiration « d'une théorie inexacte, savoir : que la vitesse de l'eau décrois- « sait en se rapprochant du fond ou des rives.

« L'appareil de Pitot consistait en une longue tringle en bois, « de section triangulaire, dans l'une des faces de laquelle étaient « logés deux tubes en verre; l'un de ces tubes était horizontale- « ment recourbé à son extrémité inférieure; l'autre, au contraire, « descendait verticalement jusqu'au niveau de la partie recourbée « du premier.

« L'opinion de Pitot était que son appareil exposé au courant « de l'eau donnerait, par la différence de niveau existant entre les « deux colonnes d'eau logées dans les deux tubes, la hauteur due « à la vitesse du fluide au point que l'on considérait, et qu'il se- « rait facile dès lors de déduire la vitesse cherchée au moyen de « la relation $V^2 = 2gh$, h étant la différence observée.....

« L'idée était, en effet, ingénieuse et neuve..... Mais com- « ment se fait-il que l'appareil qui résumait cette invention n'ait « jamais été appliqué par les ingénieurs? Comment se fait-il que « le tube de Pitot ait été considéré comme une pure spéculation « dont la pratique ne pouvait tirer aucun parti? Comment se fait-il

[1] *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856, p. 543-547.
[2] *Annales des ponts et chaussées*, 3e série, t. XV, 1858, p. 351-359.

« que, pour obtenir la vitesse moyenne d'un cours d'eau, on ait « toujours eu recours de préférence, soit à des flotteurs verticaux « de longueur égale à la lame d'eau dont on veut mesurer la vi- « tesse moyenne, soit au moulinet de Woltmann, soit enfin à « d'autres appareils plus ou moins compliqués, et qui d'ailleurs of- « frent l'inconvénient d'exiger l'emploi d'un compteur à secondes? « C'est ce que je vais chercher à expliquer, en montrant en même « temps qu'avec certaines modifications il est possible de rendre « le tube de Pitot un instrument très-exact, très-pratique..... « L'appareil de Pitot réduit à sa plus simple expression théorique « pourrait être formé d'un seul tube en verre, horizontalement re- « courbé à son extrémité; l'eau qui pénètre par la partie horizon- « tale exposée au courant se tient en équilibre dans le tube ver- « tical à une hauteur au-dessus de la surface du courant égale « à $h=\frac{V^2}{2g}$, V étant la vitesse du filet fluide que l'on considère. « Lorsque l'on est placé dans des circonstances qui permettent de « mesurer exactement h, on déduit en effet V de cette hauteur avec « une précision très-suffisante.

« Mais, en général, le clapotement de l'eau contre la surface « extérieure du tube et son armature ne permet point de com- « parer le niveau de l'eau dans le tube à celui de la surface du cou- « rant, troublée par la présence de l'appareil; les ondulations qui « courent toujours à la surface suffiraient d'ailleurs pour rendre « bien difficile la mesure précise du niveau de cette surface. C'est « pour éviter cette difficulté, que Pitot avait sans doute appréciée « dans les premières expériences qu'il fit pour juger de la valeur « de son appareil, qu'il ajouta le second tube vertical dont l'extré- « mité inférieure trempait dans le courant.

« Pitot croyait que le niveau de l'eau dans le tube droit devait « être égal à celui de la surface du courant, et qu'ainsi la diffé- « rence de niveau ou h, hauteur due à la vitesse, pourrait être fa- « cilement obtenue.

« Il y avait là une première erreur. Lorsque l'on plonge un tube

« droit dans un courant, l'eau dans le tube se tient en contre-bas « de la superficie du courant d'une quantité en rapport constant « avec le carré de la vitesse du filet fluide qui passe sous son « orifice inférieur; ainsi, la différence h entre le niveau de l'eau « dans les tubes représente une quantité supérieure à la hau- « teur due à la vitesse réelle du filet fluide considéré. Il y avait « donc là une cause d'inexactitude que Pitot n'avait pas pres- « sentie.

« En second lieu, les oscillations étaient très-fortes dans des « tubes ainsi disposés, d'autant plus fortes que les orifices avaient « tout le diamètre des tubes, et que même on croyait nécessaire « de disposer ces orifices en forme d'entonnoir. On voit donc aisé- « ment pourquoi le tube de Pitot ne pouvait rendre aucun service « pratique; d'abord sa construction reposait sur une erreur de « principe, ensuite les oscillations qui avaient lieu dans les tubes « ne permettaient pas d'apprécier, principalement dans les vitesses « faibles, les différences de niveau cherchées.

« Voici maintenant en quoi consistent les modifications que j'ai « cru devoir introduire dans cet appareil, modifications qui en « rendent l'application très-facile.

« Des expériences multipliées et précises m'ont fait recon- « naître que si, dans une eau courante, en un point quelconque « du fluide animé d'une vitesse V, on place un tube vertical re- « courbé horizontalement, et dont l'orifice soit disposé d'abord « contre le courant, ensuite dans le sens de ce dernier, enfin rec- « tangulairement à sa direction, il existait un rapport constant entre « la hauteur théorique $\frac{V^2}{2g}$ due à la vitesse du filet que l'on consi- « dère et les quantités h', h'', h'''; h' représentant dans le premier cas « la hauteur dont le niveau s'élève dans la branche verticale au- « dessus de la surface du courant; h'' et h''' les quantités dont le « niveau s'abaisse au-dessous de la surface du même courant dans « les deux autres hypothèses. On pourra donc poser :

$$\frac{V^2}{2g} = m\,h' \qquad \frac{V^2}{2g} = m'\,h'' \qquad \frac{V^2}{2g} = m''\,h'''$$

« combinant, soit la première et la deuxième, soit la première et « la troisième de ces équations, il viendra donc :

$$V=\sqrt{\frac{m\,m'}{m+m'}}\sqrt{2g(h'+h'')}=\mu\sqrt{2g(h'+h'')}$$

$$V=\sqrt{\frac{m\,m''}{m+m''}}\sqrt{2g(h'+h''')}=\mu'\sqrt{2g(h'+h''')}$$

« Cherchant maintenant dans les tables les vitesses correspon- « dantes aux hauteurs $h'+h''$, $h'+h'''$, on trouvera des vitesses V' et « V'' ; les équations ci-dessus deviendront donc :

$$V=\mu V'$$
$$V=\mu' V''$$

« et les coefficients de tarage se détermineront pour chaque na- « ture d'orifice à l'aide de quelques expériences.

« On voit d'abord par ce moyen que l'on n'a pas besoin de « passer, pour déterminer la vitesse cherchée, par la connaissance « du niveau de la surface du liquide dans lequel l'appareil est « plongé ; ensuite j'ai fait disparaître presque entièrement les os- « cillations dans les tubes en ne donnant aux orifices qu'un dia- « mètre d'un millimètre et demi, tandis que celui des tubes est « d'un centimètre.

« Enfin, comme ces oscillations, quelque réduites qu'elles « soient, pourraient encore contrarier l'observateur, j'ai fait placer « un robinet, au moyen duquel on peut fermer simultanément les « orifices inférieurs des tubes; ces orifices étant fermés, toute « communication est interceptée avec le courant, et l'on peut lire « sur les tubes la différence, d'où l'on déduit la vitesse avec autant « de facilité et de précision que des hauteurs cotées sur une mire.

« Le tube jaugeur tel que j'ai l'ai fait exécuter offre encore une « modification importante. On sait que la plupart des instruments « hydrométriques présentent le grave inconvénient d'altérer par « la perturbation qu'ils causent à la masse fluide la vitesse qu'ils « ont pour objet de mesurer. Il fallait donc diminuer la masse du « tube jaugeur, puis éloigner autant que possible de la règle qui

« porte les tubes les orifices par lesquels s'introduit le filet fluide « dont on veut déterminer la vitesse. Pour arriver à ce double ré- « sultat, j'ai fait couper en biseau la règle de bois de faible épais- « seur dans laquelle sont encastrés les tubes, ensuite j'ai fait « ajuster sous les tubes en verre des tubes en cuivre de très- « faible diamètre, à l'extrémité desquels sont placés les aju- « tages.....

« Mais on se demandera comment pourront être mesurées les « vitesses de superficie ou même de toute la couche liquide d'é- « paisseur égale à la longueur des tubes de cuivre à travers les « parois desquels on ne saurait apercevoir le liquide. Voici le pro- « cédé que j'ai employé pour parvenir à ce résultat : les deux tubes « en verre communiquent entre eux à leur partie supérieure par « un tube en cuivre qui leur est hermétiquement ajusté ; sur ce « tube en cuivre est placé un robinet qui, suivant qu'il est ouvert « ou fermé, met les tubes en communication avec l'atmosphère « ou fait cesser cette communication.

« Au-dessus du robinet précité est placée une petite embou- « chure, au moyen de laquelle on pratique un vide imparfait par « aspiration; l'eau monte dans les tubes en verre à la hauteur que « l'observateur désire, et s'y maintient par la fermeture du robinet « qui interrompt la communication avec l'atmosphère.

« Le robinet supérieur présente encore l'avantage de permettre « de déterminer, avec un instrument d'une hauteur bien moindre « que la profondeur du courant, la vitesse de ce dernier à une « profondeur quelconque ; il suffit pour cela de fermer ce robinet. « On descend alors l'instrument à 1, 2, 3 mètres sous l'eau au « moyen d'une tringle en fer, à laquelle il est ajusté, de manière « à conserver sa mobilité autour d'un axe vertical, de telle façon « qu'à l'aide d'un gouvernail l'orifice de la partie horizontale du « tube de Pitot est toujours dirigé contre le courant.

« L'instrument agit dans le premier cas sous un air dilaté ; il « fonctionne sous un air plus ou moins comprimé dans la deuxième « hypothèse ; mais il est évident que, dans les deux cas, les diffé-

« rences de niveau entre les tubes sont les mêmes que si l'on opé-
« rait sous l'influence de la pression atmosphérique. »

Description et usage du tube jaugeur employé dans le cours des expériences.

7. Les détails que nous venons d'emprunter à la notice de M. Darcy rendent parfaitement compte de l'usage du tube jaugeur. L'instrument employé aux expériences sur les canaux découverts est représenté dans la planche IV. Les tubes verticaux en verre avaient $1^m,25$ de longueur; les deux petits tubes en cuivre placés à la partie inférieure et portant les ajutages étaient enfermés dans une sorte de boîte en cuivre (fig. 1 et 4) ayant $0^m,77$ de longueur, $0^m,06$ de largeur et $0^m,011$ seulement d'épaisseur; cette boîte se terminait des deux côtés par un biseau aigu, de manière à diminuer autant que possible le choc de l'eau. Cette disposition suffisait parfaitement pour obtenir ce résultat, et l'appareil plongé dans l'eau ne causait aucune perturbation appréciable.

La mesure des vitesses en un point quelconque de la section du courant s'opérait de la manière suivante (fig. 6) : on établissait au-dessus de la rigole, au point où l'on devait expérimenter, un petit pont de service et une forte traverse en bois destinée à supporter le poids de l'instrument. A la partie postérieure du tube jaugeur se trouvait une pince mobile que l'on assujettissait à l'aide d'une vis de pression à la hauteur nécessaire pour que l'extrémité des ajutages correspondît au point voulu lorsque l'instrument reposait sur la traverse par le talon de la pince. Une poignée en fer permettait à un manœuvre placé sur le pont de service de maintenir le tube dans une position exactement verticale qu'indiquait un fil à plomb.

8. L'instrument étant ainsi placé, et les robinets inférieurs et supérieurs ouverts, l'opérateur aspirait par la petite embouchure O (fig. 1 et 2) une partie de l'air contenu dans les tubes, de manière à faire monter l'eau à une hauteur commode pour la lecture, puis il refermait le robinet supérieur R. La dénivellation entre les deux colonnes d'eau de l'instrument s'établissait immédiatement, mais elles étaient toutes deux soumises à de continuelles oscillations. Lorsque l'opérateur voulait faire une lecture, il fermait, à l'aide

d'une ficelle, le robinet inférieur R'; les colonnes d'eau devenaient immobiles et la lecture se faisait avec la plus grande facilité.

La différence de hauteur des deux colonnes liquides étant constamment variable, on avait soin de saisir pour faire la lecture les moments des *maxima* et des *minima;* on notait deux ou trois *maxima* et autant de *minima*, et l'on faisait la moyenne de toutes les opérations.

EXEMPLE.

HAUTEURS dans LE TUBE AMONT.	HAUTEURS dans LE TUBE AVAL.	DIFFÉRENCES.	OBSERVATIONS.
mèt.	mèt.	mèt.	
0,953	0,822	0,131	Maximum.
0,948	0,830	0,118	Minimum.
0,950	0,822	0,128	Maximum.
0,945	0,825	0,120	Minimum.
0,933	0,803	0,130	Maximum.
0,925	0,808	0,117	Minimum.
	Moyenne.....	0,124	

d'où

$$V = \mu\sqrt{2g \times 0^{m},124}.$$

μ étant le coefficient de tarage applicable à l'instrument.

Le tube jaugeur a toujours fonctionné avec la plus grande régularité; la présence des ajutages n'apportait aucun trouble dans l'écoulement; de telle sorte qu'il était facile de déterminer rigoureusement la vitesse en un point donné de la section. Des expériences précises dans de petits canaux artificiels n'eussent pas été possibles avec les instruments habituellement usités, tels que le moulinet, qui auraient occupé une portion appréciable de la section, et auraient, par leur présence seule, modifié l'écoulement. On verra, dans le chapitre suivant, par quels procédés on a dé-

terminé le coefficient de tarage des tubes jaugeurs employés aux expériences.

9. Les explications que nous venons de donner s'appliquent spécialement aux expériences faites dans la rigole décrite au commencement du chapitre. Pour les expériences faites dans d'autres canaux et, notamment, dans les rigoles du canal de Bourgogne, les procédés employés ont été à peu près les mêmes. On trouvera dans le cours de l'ouvrage, et surtout dans l'Appendice placé à la suite, les explications nécessaires pour faire connaître la méthode suivie dans chaque cas particulier. Cet Appendice renferme, indépendamment des résultats principaux de chaque série d'expériences, les éléments dont ils ont été déduits, c'est-à-dire les profondeurs d'eau, les largeurs en chaque point, etc..... La connaissance de tous ces éléments était nécessaire pour permettre des recherches ou des vérifications ultérieures; mais ils auraient occupé trop de place dans le corps de l'ouvrage, et ils ont dû être réunis dans un Appendice contenant non-seulement les éléments numériques qui ont servi de base aux calculs, mais aussi quelques détails sur les principales circonstances dans lesquelles chaque expérience a été exécutée, telles que la disposition des canaux, la direction et l'intensité du vent, la température de l'eau, etc..... Les questions hydrauliques sont tellement complexes, qu'il est nécessaire de tenir compte, avec le plus grand soin, de toutes les circonstances qui accompagnent les phénomènes, lors même qu'elles paraîtraient au premier abord sans importance.

CHAPITRE II.

TARAGE DES INSTRUMENTS EMPLOYÉS DANS LE COURS DES EXPÉRIENCES.

Les principales dispositions des appareils ont été décrites dans le chapitre I. Nous allons maintenant faire connaître par quels procédés on a déterminé le débit des vannes placées en tête de la rigole et le coefficient de tarage du tube jaugeur.

1° DÉTERMINATION DU DÉBIT DES VANNES.

10. La prise d'eau s'opérait, ainsi que nous l'avons dit, à l'aide de quatre vannes en tôle de 1 mètre de largeur, pouvant se lever de $0^m,40$. Lors des premières expériences d'essai, faites en 1855, ces vannes versaient directement l'eau à la partie supérieure de la rigole. Le coefficient de la dépense avait été déterminé par M. l'ingénieur en chef Baumgarten, en barrant la rigole et notant le temps employé à la remplir jusqu'à une certaine hauteur. Ce procédé avait conduit M. Baumgarten aux coefficients suivants [1] :

Vanne levée de	$0^m,10$	coefficient	0,645
id.	$0^m,20$	*id.*	0,639
id.	$0^m,30$	*id.*	0,631
id.	$0^m,40$	*id.*	0,621

Ces chiffres sont relatifs au cas où une seule vanne était ouverte; ils augmentaient un peu lorsque l'on en ouvrait plusieurs.

Ainsi le coefficient 0,621 devenait 0,637 lorsque l'on ouvrait

[1] *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856, p. 607.

quatre vannes à la fois. La charge était de $0^m,55$ à 0^m70, sur le seuil.

11. Les premières expériences ont été faites avec ces données; mais on ne tarda pas à s'apercevoir que, même en arrêtant la navigation, on ne pouvait rendre le débit suffisamment constant. C'est pour parvenir à ce but que fut placé le second vannage comprenant douze orifices carrés à peu près semblables à ceux qu'ont employés MM. Poncelet et Lesbros dans leurs belles expériences sur l'écoulement. Malheureusement la disposition des lieux ne permettait pas de rendre la contraction complète, et dès lors le coefficient trouvé par MM. Poncelet et Lesbros n'était plus applicable. Il eût fallu en effet : 1° que le seuil des orifices fût placé à $0^m,60$ au moins du fond; 2° qu'ils fussent beaucoup plus écartés les uns des autres; 3° que la chambre comprise entre les deux vannages eût une assez grande étendue pour que l'eau sortant du premier pût être sensiblement réduite au repos avant de s'engager dans le second. Ces conditions n'étaient pas remplies; la dernière eût probablement exigé, pour des débits de 1,200 litres par seconde, que la chambre eût une étendue très-considérable. La vitesse de la veine liquide sortant du premier vannage n'était pas éteinte lorsqu'elle atteignait le second, et il se formait visiblement au sein de la masse fluide un noyau central animé d'une certaine vitesse, autour duquel tourbillonnait lentement le reste de l'eau contenue dans la chambre.

Tarage provisoire en 1857.

Il fallait donc recourir pour déterminer le coefficient de la dépense à des mesures directes. Une première série d'expériences fut faite dans ce but en juin 1857. On remplit successivement une partie de la rigole en ouvrant une, deux, trois... douze vannes. On mesura avec le plus grand soin le volume débité et la durée de l'écoulement dans chaque cas, et l'on obtint ainsi les résultats suivants.

NOMBRE de vannes ouvertes.	DÉBIT TOTAL PAR SECONDE.	DÉBIT MOYEN PAR SECONDE pour chaque vanne.	COEFFICIENT MOYEN de LA DÉPENSE.
	mèt. cub.	mèt. cub.	
1	0,103	0,1030	0,650
2	0,205	0,1025	0,647
3	0,313	0,1043	0,658
4	0,423	0,1057	0,667
5	0,515	0,1030	0,650
6	0,615	0,1025	0,647
7	0,720	0,1029	0,649
8	0,818	0,1022	0,645
9	0,923	0,1026	0,647
10	1,027	0,1027	0,648
11	1,133	0,1030	0,650
12	1,242	0,1035	0,653

Bien que chacune des opérations consignées dans le tableau précédent ait été répétée au moins deux fois, on remarque cependant, en examinant les valeurs du coefficient de la dépense, des anomalies évidentes, dues en grande partie à ce que les irrégularités du fond de la rigole ne permettaient pas d'apprécier, avec une exactitude suffisante, le volume d'eau qu'elle renfermait à la fin de chaque opération. La valeur moyenne des douze coefficients compris dans la dernière colonne du tableau est 0,651 ; on n'aperçoit d'ailleurs aucune loi de variation marquée dans la série que forment ces douze nombres. On adopta donc primitivement la valeur 0,65, quel que fût le nombre des vannes ouvertes.

Tarage définitif en 1860.

12. Ce coefficient approché pouvait suffire pour les calculs provisoires que l'on devait faire pendant le cours des expériences ; mais il fallait, avant de procéder aux calculs définitifs, le déterminer avec une plus grande exactitude et examiner en même temps quelles étaient les causes qui pouvaient le faire varier. Malgré le temps considérable qu'exigeaient ces opérations de tarage, nous nous

décidâmes, au commencement de 1860, à les renouveler, en prenant toutes les précautions dont les opérations préliminaires faites en 1857 avaient fait reconnaître la nécessité.

Le débit des orifices étant modifié par le courant qui s'établissait entre les deux vannages, il était à présumer qu'il devait varier suivant la hauteur du bief du canal dans lequel s'opérait la prise d'eau, et même suivant la position des vannes ouvertes. Il fallait donc avant tout examiner jusqu'à quel point ces deux causes pouvaient le modifier.

13. Des variations de débit, même très-faibles, peuvent être rendues sensibles en mesurant avec soin les variations de profondeur d'un courant en un même point; mais il faut recourir à certaines dispositions particulières permettant d'apprécier exactement le niveau moyen de la surface, malgré ses oscillations continuelles. A 320 mètres de l'origine de la rigole on établit un tube indicateur en verre, dans lequel l'eau du courant s'élevait le long d'une échelle divisée en millimètres; afin de détruire les oscillations, l'eau contenue dans le tube ne communiquait avec le courant que par un trou d'un millimètre de diamètre. Cet appareil fort simple, dont on trouvera le dessin (pl. XVII, fig. 3 et 4), était établi à côté de la rigole, dans une fosse assez profonde pour que l'observateur pût avoir l'œil au niveau de l'eau dans le tube en verre et en suivre tous les mouvements; il permettait d'apprécier des variations de niveau inférieures à un millimètre, et, par suite, de reconnaître les moindres modifications apportées au débit.

14. Il fallait d'abord étudier l'influence de la hauteur du bief du canal; on procéda de la manière suivante : on établit dans la rigole un courant constant en ouvrant un certain nombre d'orifices du petit vannage, puis, lorsque le régime fut parvenu à l'uniformité, on laissa le bief du canal, qui était d'abord à $0^m,20$ au-dessus du niveau de la chambre, s'abaisser lentement jusqu'à ce niveau. Cette opération fut faite avec trois débits différents, en ouvrant un, six et douze orifices. L'instrument n'accusa aucune variation tant que la différence de niveau entre la surface du bief et

celle de la chambre permit de maintenir constante la charge de $0^m,80$ sur le centre des orifices d'écoulement; il n'indiqua d'abaissement qu'au moment où la charge devint inférieure à $0^m,80$. La différence de niveau entre le bief du canal et la chambre était donc sans influence sensible sur le débit. On constata de même qu'il était indifférent d'ouvrir l'une ou l'autre des vannes du premier vannage de prise d'eau. Les expériences précédentes écartaient donc un premier élément de complication; mais il restait encore à examiner si le débit des orifices du second vannage dépendait de leur position. Ce fait paraissait probable, car, en examinant avec soin les veines liquides qui en sortaient, on pouvait remarquer qu'elles n'étaient pas complétement normales au plan du vannage, mais qu'elles s'inclinaient légèrement dans un sens ou dans l'autre, surtout lorsque plusieurs orifices fonctionnaient en même temps. On fit donc une nouvelle série d'expériences pour reconnaître si le débit fourni par un même nombre d'orifices restait constant quels que fussent ceux que l'on ouvrait, ou s'il variait au contraire avec leur position respective. Les résultats de ces expériences sont renfermés dans le tableau suivant : la première colonne indique le nombre des vannes ouvertes; dans la deuxième, ces vannes sont désignées par des numéros en partant de la droite, c'est-à-dire que le n° 1 désigne la vanne la plus rapprochée de l'extrémité droite du vannage en regardant du côté d'aval, et le n° 12 la plus éloignée. Enfin, la troisième colonne contient les profondeurs du courant mesurées en un même point (à 320 mètres de l'origine de la rigole; la pente du fond était à cette époque de $0^m,0015$ par mètre).

NOMBRE de vannes ouvertes.	DÉSIGNATION DES VANNES OUVERTES.	PROFONDEUR DU COURANT.	OBSERVATIONS.
		mèt.	
1	1	0,093	La substitution d'une vanne à une autre ne produit que des variations peu appréciables de quelques dixièmes de millimètre.
	* 5	0,093	
	* 6	0,093	
	* 7	0,093	
	12	0,093	
2	1,12	0,139	Quelques légères variations de niveau inférieures à 1 millimètre.
	* 5,6	0,139	
	* 6,7	0,139	
3	* 5,6,7	0,1775	Augmentation de 0m,0015 après la substitution de la vanne n° 8 à la vanne n° 5.
	* 6,7,8	0,1790	
4	* 5,6,7,8	0,2140	Augmentation de 0m,0015 après la substitution des vannes nos 1, 2, 11, 12 aux vannes nos 5, 6, 7, 8.
	1,2,11,12	0,2155	
5	* 4,5,6,7,8	0,245	Augmentation de 0m,002 après la substitution de la vanne n° 9 à la vanne n° 4.
	* 5,6,7,8,9	0,247	
6	1,2,3,4,5,6,	0,276	Les vannes ouvertes en premier lieu étaient les six vannes de droite : à mesure qu'on leur en substitue d'autres plus rapprochées de la gauche, le niveau s'élève peu à peu. L'augmentation définitive est de 0m,005 lorsque les six vannes de gauche sont ouvertes.
	1,2,3,10,11,12	0,279	
	* 4,5,6,7,8,9	0,278	
	7,8,9,10,11,12	0,281	
7	* 3,4,5,6,7,8,9	0,307	Variations peu appréciables de quelques dixièmes de millimètre.
	* 4,5,6,7,8,9,10	0,307	
8	* 3,4,5,6,7,8,9,10	0,334	Augmentation de 0m,001 après la substitution des vannes nos 1, 2, 11, 12 aux vannes nos 5, 6, 7, 8.
	1,2,3,4,9,10,11,12	0,335	
9	* 2,3,4,5,6,7,8,9,10	0,3605	Augmentation de 0m,0005 après la substitution de la vanne n° 11 à la vanne n° 2.
	* 3,4,5,6,7,8,9,10,11	0,3610	
10	1,2,3,4,5,8,9,10,11,12	0,387	Les variations de niveau deviennent inappréciables.
	* 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11	0,387	
11	* 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11	0,412	Les variations de niveau deviennent inappréciables.
	* 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12	0,412	

On voit par ce tableau que le débit varie un peu avec la position des orifices ouverts. Les différences, d'abord inappréciables lorsqu'on n'en ouvre qu'un ou deux, atteignent leur maximum lorsque le nombre des orifices est de six, et diminuent ensuite. En général, le débit des orifices paraît être d'autant plus grand qu'ils sont plus rapprochés de la gauche du vannage. La plus grande différence a été obtenue en comparant le débit des six vannes de droite avec celui des six vannes de gauche ; cette différence est de $0^m,005$, ce qui correspond à une différence de débit d'environ $\frac{1}{37}$. On aurait donc pu introduire dans les résultats des erreurs appréciables si l'on avait ouvert les vannes indifféremment et sans ordre régulier ; mais il n'en avait heureusement pas été ainsi, et l'on avait toujours eu le soin d'ouvrir les mêmes orifices pour un débit déterminé. Les combinaisons correspondantes à chaque débit sont indiquées au tableau précédent par le signe *. C'est sur ces combinaisons que l'on a opéré, à l'exclusion de toutes les autres, dans les expériences de tarage qui vont être décrites.

15. Lors de la première série d'opérations faite en 1857, le barrage destiné à retenir les eaux avait été placé à l'extrémité inférieure de la pente de 0,0049 pour les débits de moins de six vannes, et à l'extrémité inférieure de la pente de 0,002 pour les débits plus grands. La rigole était complétement vidée avant chaque expérience. Il résultait de ces dispositions un double inconvénient. Les coefficients, n'étant pas tous calculés dans des conditions identiques, pouvaient n'être pas tout à fait comparables ; en outre, le fond de la rigole n'étant pas parfaitement régulier, il était impossible d'apprécier exactement le volume de l'eau qui se logeait dans les inégalités du plancher, ce qui pouvait occasionner des erreurs sensibles. Pour éviter cet inconvénient dans les nouvelles expériences, le barrage fut placé invariablement à $428^m,50$ de l'origine de la rigole, c'est-à-dire un peu en amont de l'extrémité inférieure de la pente de 0,002, et l'on eut soin de laisser dans la rigole, avant chaque opération, une quantité d'eau suffi-

sante pour couvrir toute l'étendue de la pente de 0,002, soit une longueur de 230 mètres à 240 mètres. De cette manière, le volume d'eau renfermé dans cette partie de la rigole à la fin de chaque opération était compris entre deux surfaces planes parfaitement parallèles, et l'on n'avait à tenir compte des inégalités du fond que dans la partie inférieure de la pente de 0,0049, qui était recouverte par l'eau sur une longueur de 80 à 100 mètres. Les largeurs et profondeurs de la rigole avaient été préalablement mesurées en un très-grand nombre de points, de manière à en connaître exactement la capacité.

Il fallait encore tenir compte de la perte par infiltration qui se produisait pendant le temps de l'écoulement et pendant le temps nécessaire pour calmer l'agitation de l'eau[1]. Pour évaluer exactement cette perte, on observait pendant une heure ou une heure et demie après l'expérience l'abaissement graduel de la surface ; cet abaissement était à peu près constant et égal à $0^m,02$ par heure. Il était dès lors facile de calculer le cube d'eau perdu par infiltration ; ce cube n'était d'ailleurs qu'une très-faible fraction du volume total. Le tableau suivant renferme les résultats obtenus pour 1, 2, 3 ..... 12 vannes :

NOMBRE de vannes ouvertes.	DÉBIT TOTAL PAR SECONDE.	DÉBIT MOYEN PAR SECONDE pour chaque vanne.	COEFFICIENT DE LA DÉPENSE	DURÉE DE L'ÉCOULEMENT.
	mèt. cub.	mèt. cub.		min.
1	0,1005	0,1005	0,634	40′
2	0,2036	0,1018	0,642	20′
3	0,3080	0,1027	0,648	13′20″
4	0,4112	0,1028	0,649	10′
5	0,5144	0,1029	0,649	9′
6	0,6215	0,1036	0,654	7′40″
7	0,7194	0,1028	0,649	5′43″
8	0,8286	0,1036	0,654	5′
9	0,9288	0,1032	0,651	4′27″
10	1,0290	0,1029	0,649	4′
11	1,1350	0,1032	0,651	3′38″
12	1,2360	0,1030	0,650	3′21″

[1] Voir au sujet de la perte par infiltration la note A, à la fin du volume.

Opérations de tarage spéciales pour les petits débits.

16. Les résultats de ces expériences, exécutées avec un très-grand soin, sont fort réguliers; on voit que les valeurs du coefficient paraissent constantes, sauf les deux premières; mais on pouvait craindre que la diminution qui se manifeste au commencement de la série ne fût le résultat des pertes par infiltration dont l'influence serait devenue sensible en raison de la durée considérable de l'écoulement. Pour s'en assurer, on établit un nouveau barrage à 100 mètres seulement de l'origine de la rigole, et l'on opéra, comme on l'avait fait avec le premier, en ouvrant successivement une, deux et trois vannes; on avait soin de laisser avant chaque expérience assez d'eau pour couvrir toute cette partie de la rigole jusqu'au pied du vannage. Le volume d'eau qu'il s'agissait de mesurer se trouvait donc compris entre deux plans parallèles, sans qu'il fût nécessaire de tenir compte des irrégularités du fond. Les pertes par infiltration étant, en outre, très-minimes dans cette partie et la durée de l'écoulement n'étant que de quelques minutes, on pouvait compter sur une grande précision. On obtint ainsi :

NOMBRE de vannes ouvertes.	DÉBIT TOTAL par SECONDE.	DÉBIT MOYEN PAR SECONDE pour chaque vanne.	COEFFICIENT de LA DÉPENSE.	DURÉE de L'ÉCOULEMENT.
	mèt. cub.	mèt. cub.		min.
1	0,1002	0,1002	0,632	8′30″
2	0,2034	0,1017	0,642	4′14″
3	0,3062	0,1021	0,644	2′50″

Ces chiffres sont bien d'accord avec ceux de la première série, et la diminution du coefficient pour les petits débits ne saurait être révoquée en doute; elle est d'ailleurs parfaitement rationnelle. La moyenne des valeurs du coefficient de la dépense comprises dans les deux tableaux donne, pour les débits d'une, deux et trois vannes, les nombres 0,633, 0,642 et 0,646; ces nombres vont en croissant d'une manière continue avec le débit. Pour

quatre vannes, le coefficient devient 0,649; enfin, pour un plus grand nombre d'orifices ouverts, il paraît devenir constant et à peu près égal à 0,650.

17. Nous adopterons donc :

Valeurs définitives des coefficients de la dépense.

Pour le débit d'une vanne	0,633
——— de deux vannes	0,642
——— de trois vannes	0,646
——— de quatre vannes	0,649
——— de cinq vannes et au-dessus	0,650

Les valeurs du coefficient de la dépense une fois arrêtées d'une manière définitive, il est aisé d'en déduire les débits correspondants, et l'on obtient les nombres suivants, qui nous serviront de base pour le calcul de toutes les expériences.

NOMBRE de vannes ouvertes.	DÉBITS CORRESPONDANTS.	NOMBRE de vannes ouvertes.	DÉBITS CORRESPONDANTS.
	mèt. cub.		mèt. cub.
1	0,100	7	0,721
2	0,203	8	0,824
3	0,307	9	0,927
4	0,411	10	1,030
5	0,515	11	1,133
6	0,618	12	1,236

Presque toutes les expériences ont été faites avec ces douze débits; cependant on a opéré, dans quelques circonstances, sur des débits intermédiaires, en ne levant pas complétement l'une des vannes (la vanne n° 5, manœuvrée par une vis). Il était donc nécessaire de déterminer le coefficient applicable à ce dernier cas.

18. Supposons d'abord une seule vanne levée de $0^m,10$, toutes les autres restant complétement fermées; dans ce cas, le coefficient

peut facilement être déterminé, comme on l'a vu précédemment pour les débits d'une, deux et trois vannes; on a obtenu ainsi la valeur 0,638. Lorsqu'il y a en même temps d'autres orifices ouverts, il est clair que cette valeur devient trop faible et doit nécessairement être augmentée. Mais dans quelle proportion doit-elle l'être? Pour résoudre cette question, il est nécessaire de comparer les coefficients que nous avons obtenus avec ceux que MM. Poncelet et Lesbros ont trouvés dans le cas de la contraction complète.

NOMBRE DE VANNES OUVERTES.	COEFFICIENTS OBTENUS expérimentalement.	COEFFICIENTS CORRESPONDANTS au cas de la contraction complète.	RAPPORT.
1 vanne levée de $0^m,10$	0,638	0,616	1,036
1 vanne complétement levée	0,633	0,604	1,048
2 *Idem*	0,642	0,604	1,063
3 *Idem*	0,646	0,604	1,069
4 *Idem*	0,649	0,604	1,074
5 vannes complétement levées et au delà.	0,650	0,604	1,076

On voit que le rapport des coefficients de ces deux séries, qui commence par être peu différent de l'unité, augmente avec le débit et finit par devenir égal à 1,076. On peut admettre que le coefficient applicable à la vanne levée de $0^m,10$ augmente dans la même proportion que les autres. Si l'on suppose, par exemple, que l'on ouvre complétement deux vannes et qu'on ne lève la troisième que de $0^m,10$, le coefficient applicable à cette dernière s'obtiendra en multipliant la valeur 0,616, correspondante au cas de la contraction complète, par la moyenne 1,066, des rapports 1,063 et 1,069 correspondants aux débits de 2 et 3 vannes.

En opérant de cette manière, on obtient, pour le cas d'une

vanne levée de $0^m,10$, les coefficients ci-après, suivant le nombre des orifices ouverts.

NOMBRE DE VANNES OUVERTES indépendamment de celle qui est levée de $0^m,10$.	COEFFICIENTS APPLICABLES À LA VANNE levée de $0^m,10$.
1	0,650
2	0,657
3	0,660
4	0,662
5 et au-dessus.	0,663

C'est ainsi qu'ont été calculés tous les débits correspondants à des levées incomplètes de l'un des orifices; du reste, l'erreur commise sur le débit total, en adoptant pour cet orifice le même coefficient que pour les autres, n'aurait pas eu d'importance.

19. On n'a tenu aucun compte, dans le cours des expériences ultérieures, des pertes par infiltration, parce qu'elles étaient trop peu importantes pour modifier les résultats d'une manière appréciable. L'influence de ces pertes a, du reste, été déterminée à l'aide d'expériences spéciales, qui ont confirmé d'une manière remarquable la loi des écoulements lents découverte par M. Darcy, loi d'après laquelle la vitesse d'écoulement est simplement proportionnelle à la charge. L'exposé de ces recherches accessoires nous aurait conduit à entrer ici dans des détails assez longs et en grande partie étrangers au but principal de cet ouvrage. Nous avons cru devoir, pour ce motif, en faire l'objet d'une note spéciale placée à la fin du volume[1].

2° DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE TARAGE DU TUBE JAUGEUR.

20. Le coefficient de tarage du tube jaugeur a été déterminé de trois manières différentes :

1° En mesurant, à l'aide de flotteurs, la vitesse superficielle

[1] Voir à la fin du volume la note A.

d'un courant et comparant les résultats obtenus avec les indications fournies par le tube;

2° En faisant mouvoir l'instrument avec une vitesse connue dans une masse d'eau en repos;

3° En mesurant, à l'aide du tube, la vitesse en un grand nombre de points de la section transversale d'un courant, et comparant ensuite la valeur du débit calculé d'après ces données avec celui qui a été déterminé par les expériences de tarage décrites au commencement de ce chapitre.

Tarage à l'aide de flotteurs.

21. Première méthode.

Il a été dit plus haut que la vitesse *maxima* avait toujours été mesurée en même temps à l'aide de flotteurs et au moyen du tube jaugeur. Chaque expérience fournit donc une valeur du coefficient de tarage de cet instrument, et l'on peut, en prenant la moyenne de toutes les valeurs ainsi calculées, l'obtenir avec assez de précision.

Nous n'admettrons toutefois pour la détermination de ce coefficient que les expériences faites sur des canaux rectangulaires de 2 mètres de largeur, en excluant celles qui se rapportent à des canaux de largeur moindre. Les flotteurs, malgré toutes les précautions que l'on peut prendre, n'ont pas une marche parfaitement rectiligne et ne suivent pas exactement l'axe du courant. L'erreur qui en résulte sur la vitesse *maxima* n'est pas très-importante lorsque l'on opère sur un canal rectangulaire d'une assez grande largeur, parce que les vitesses superficielles sont presque égales dans une certaine étendue de part et d'autre du filet central. Mais il n'en est plus de même dans un canal de peu de largeur, surtout lorsque la section n'est pas un rectangle. Dans ce cas la vitesse du fluide décroissant plus rapidement pour une même déviation des flotteurs, leurs indications peuvent se trouver altérées d'une manière sensible.

Nous n'emploierons donc pour la détermination du coefficient de tarage que les expériences faites sur des canaux rectangulaires de 2 mètres de largeur; ce sont les plus larges sur lesquels on ait

opéré. Nous exclurons même les expériences faites avec un débit de moins de cinq vannes, dans lesquelles le peu de profondeur du courant jette quelque incertitude sur les indications des flotteurs et du tube.

DÉSIGNATION des séries d'expériences.	VALEURS DU COEFFICIENT de tarage.	OBSERVATIONS.
2	0,987	Moyenne de 8 expériences.
3	1,024	*Idem* 8
4	0,981	*Idem*..... 8
5	1,013	*Idem*..... 8
6	1,006	*Idem* 8
7	0,988	*Idem*..... 8
8	1,012	*Idem*..... 8
9	1,008	Moyenne de 4 expériences.
10	1,008	*Idem*..... 4
11	1,009	*Idem*..... 4
12	1,007	*Idem*..... 4
13	1,015	*Idem*..... 4
14	1,039	*Idem*..... 4
15	0,994	*Idem*..... 4
16	1,007	*Idem*..... 4
17	1,023	*Idem*..... 4

La moyenne des quatre-vingt-douze valeurs contenues dans le tableau précédent est 1,006.

22. Deuxième méthode.

Tarage dans une eau tranquille.

Le procédé de détermination qui vient d'être employé peut donner lieu à quelques objections. Quelque soin que l'on apporte à la construction d'une rigole, on ne peut cependant arriver à en régler le fond suivant une surface parfaitement plane; il subsiste toujours de légères irrégularités qui troublent l'écoulement. Aussi la vitesse superficielle varie-t-elle en chaque point du courant. Le flotteur, qui parcourt un espace d'une cinquantaine de mètres, fournit une sorte de moyenne des vitesses superficielles corres-

pondantes aux divers points de son parcours; mais il n'en est pas de même du tube jaugeur, qui n'opère qu'en un ou deux points, et qui peut accuser une anomalie locale au lieu de faire connaître la véritable vitesse normale du courant. Il était donc convenable, pour lever tous les doutes, de recourir à un autre procédé de tarage entièrement différent qui pût servir de contrôle. Ces expériences de vérification ont eu lieu en mars 1859, dans le bief n° 54 du canal de Bourgogne.

L'instrument était assujetti par un bâti en charpente à l'avant d'une forte barque de 10 mètres de longueur, tirant environ $0^m,40$ d'eau. L'ajutage était à $0^m,70$ sous l'eau et se trouvait à 2 mètres en avant de la barque. Sur les deux levées du bief, qui est parfaitement en ligne droite, avaient été placés, de 50 mètres en 50 mètres, des jalons destinés à faire connaître exactement le chemin parcouru. La traction de la barque était opérée par des hommes, les chevaux n'ayant pu fournir une vitesse suffisamment uniforme. On notait, à l'aide d'un compteur à pointage indiquant les cinquièmes de seconde, le temps employé à parcourir chaque intervalle de 50 mètres. Pour chaque série d'opérations, la barque parcourait une distance de 450 mètres formant neuf intervalles avec une vitesse à peu près uniforme, et, pendant ce temps, on notait aussi souvent que possible les vitesses accusées par le tube. Chaque intervalle de 50 mètres fournissait ainsi une ou plusieurs valeurs du coefficient de tarage. On formait ensuite la moyenne de toutes les valeurs données par les neuf intervalles partiels.

VITESSE DE LA BARQUE.	COEFFICIENTS DE TARAGE OBTENUS.	OBSERVATIONS.
mèt.		
0,609	1,040	Moyenne de 2 opérations.
0,692	1,053	Moyenne de 1
0,785	1,032	Moyenne de 3
0,938	1,033	Moyenne de 1
0,980	1,040	Moyenne de 3
1,120	1,015	Moyenne de 1
1,231	1,028	*Idem*..... 1
1,333	1,032	*Idem*.. 1
1,385	1,048	*Idem*..... 1
1,470	1,029	*Idem*..... 1
1,500	1,040	*Idem*..... 1
1,611	1,033	Moyenne de 2
1,661	1,027	Moyenne de 1
1,775	1,042	*Idem*..... 1
1,819	1,031	Moyenne de 3
1,863	1,027	*Idem*..... 3
1,930	1,039	Moyenne de 1
1,976	1,025	Moyenne de 4
2,034	1,037	Moyenne de 1

La moyenne générale est 1,034.

Cette valeur est nécessairement un peu trop forte. En effet, malgré toutes les précautions prises, il arrive nécessairement que la barque ne se meut pas toujours suivant son axe, et dès lors la direction des ajutages de l'instrument ne coïncide plus parfaitement avec celle du chemin parcouru. Cette légère obliquité réduit un peu les indications de l'instrument, et tend, par suite, à exagérer le coefficient de tarage. Outre cette déviation dans le sens horizontal, il peut également s'en produire une autre dans le sens vertical, l'avant de la barque ayant une tendance à se soulever dans les grandes vitesses. A ces deux causes on peut encore ajouter le mouvement d'entraînement que communique la barque à la masse d'eau qu'elle rencontre.

Les diverses influences que nous venons d'énumérer ont toutes pour effet de diminuer la différence de hauteur dans les deux tubes de l'instrument, et, par suite, d'exagérer le coefficient de tarage. La valeur 1,034, déduite des expériences précédentes, doit donc être un peu trop forte.

Tarage par la comparaison des débits.

23. Troisième méthode.

Le débit des orifices placés en tête de la rigole ayant été déterminé par des expériences spéciales, on peut encore calculer le coefficient de tarage du tube en comparant la valeur connue de ce débit avec celle que l'on obtient en mesurant la vitesse en un grand nombre de points de la section du courant. Mais, pour que cette comparaison puisse conduire à un résultat suffisamment approché, il est nécessaire que ces mesures de vitesses soient aussi multipliées que possible; aussi, parmi les nombreuses expériences faites avec le tube jaugeur, n'emploierons-nous que celles qui correspondent aux plus grands débits.

L'évaluation du débit, au moyen des vitesses en chaque point, peut se faire de la manière suivante : Si l'on jette les yeux sur l'une des planches figurant les vitesses mesurées aux différents points de la section, on voit que les points où l'on a opéré avec le tube jaugeur sont ordinairement distribués suivant des lignes horizontales et verticales dont l'ensemble subdivise la section totale en un grand nombre de petits rectangles partiels. Le volume d'eau qui s'écoule en une seconde par l'un de ces rectangles est égal à sa surface multipliée par la vitesse moyenne des filets qui le traversent, laquelle diffère peu de la moyenne des vitesses mesurées aux quatre angles. La somme des débits élémentaires ainsi obtenus conduit à une valeur approchée du débit total.

Ce mode de calcul ne présente aucune difficulté pour les rectangles qui se trouvent dans l'intérieur de la section. Il n'en est pas tout à fait de même pour ceux qui touchent par un de leurs côtés à la paroi. Dans ce cas les vitesses aux deux angles situés sur la paroi même ne sont pas immédiatement données par l'expérience; mais elles peuvent être obtenues approximativement par

une simple construction graphique. Les points où la vitesse a été mesurée étant distribués suivant des lignes horizontales et verticales, si l'on construit sur chacune de ces lignes une courbe ayant pour abscisses les distances des points entre eux, et pour ordonnées les vitesses correspondantes à chacun d'eux, ces courbes, tracées à une échelle suffisante, donneront, par leur prolongement jusqu'à l'ordonnée extrême correspondante à la paroi, les vitesses cherchées.

On obtient ainsi pour le coefficient de tarage les valeurs suivantes :

DÉSIGNATION des expériences.	VALEURS du coefficient de tarage.	DÉSIGNATION des expériences.	VALEURS du coefficient de tarage.
Série n° 51 Expérience n° 1	1,021	Série n° 66 Expérience n° 1	1,015
Idem..... 2	1,010	*Idem*..... 2	0,984
Idem..... 3	1,018	Série n° 68 Expérience n° 4	0,976
Série n° 52 Expérience n° 1	1,029	Série n° 71 Expérience n° 6	0,968
Idem..... 2	1,000	Série n° 72 Expérience n° 5	1,017
Idem..... 3	1,006	Série n° 73 Expérience n° 4	0,967
Série n° 58 Expérience n° 4	1,005	Série n° 74 Expérience n° 4	1,014
Série n° 59 Expérience n° 4	0,969	Série n° 84 Expérience n° 2	1,014
Série n° 60 Expérience n° 2	0,968	*Idem*..... 3	0,984
Série n° 61 Expérience n° 4	0,966	Série n° 85 Expérience n° 1	0,998
Série n° 62 Expérience n° 4	0,965	*Idem*..... 2	0,997
Série n° 63 Expérience n° 3	0,988	*Idem*..... 3	0,990
Série n° 64 Expérience n° 1	0,996	Série n° 88 Expérience n° 1	0,995
Idem..... 2	0,988	*Idem*..... 2	0,986
Série n° 65 Expérience n° 4	0,978	*Idem*..... 3	0,980
		Idem..... 4	0,993

Moyenne générale..... 0,993
On a obtenu précédemment, à l'aide des flotteurs.. 1,006
Et en promenant l'instrument dans une eau tranquille. 1,034

La moyenne des deux premières valeurs est exactement égale à l'unité; la troisième est certainement trop forte; nous suppose-

rons donc le coefficient de tarage égal à l'unité, ce qui simplifie notablement les calculs; mais il ne faut pas oublier que ce coefficient est tout à fait spécial à l'instrument dont on s'est servi, et qu'une modification peu importante en apparence dans la forme des ajutages peut le faire varier dans des limites fort étendues. (Voir, à ce sujet, la note B, à la fin de l'ouvrage.)

DEUXIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LES COURANTS À RÉGIME UNIFORME.

CHAPITRE PREMIER.

INFLUENCE DE LA NATURE DE LA PAROI SUR L'ÉCOULEMENT.

1. Depuis que l'attention des hydrauliciens s'est portée sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts, plusieurs formules différentes ont été proposées pour déterminer la vitesse moyenne d'un courant en fonction de la pente et du rayon moyen; les uns ont supposé le rapport $\frac{RI}{U^2}$ constant, ce qui conduit à l'expression fort simple

$$RI = bU^2$$

b étant un coefficient numérique que l'on fait ordinairement égal à 0,0004; les autres, remarquant, avec Dubuat, que $\frac{RI}{U^2}$ doit aller en diminuant quand la vitesse U augmente, ont admis les relations moins simples

$$\frac{RI}{U^2} = b + \frac{a}{U}, \text{ d'où, } RI = aU + bU^2$$

ou bien

$$\frac{RI}{U^2} = \frac{b}{U^m}, \text{ d'où, } RI = bU^{2-m}$$

m étant un exposant fractionnaire plus petit que l'unité.

La première de ces deux expressions est la formule binôme

adoptée par M. de Prony; la seconde a été proposée par M. de Saint-Venant[1], qui a fait $m = \frac{1}{11}$.

Toutes ces formules font abstraction de la nature de la paroi, et supposent qu'une seule et même loi empirique peut embrasser tous les cas possibles. On justifie cette hypothèse, peu conforme à ce qui se passe ordinairement dans la nature, en admettant qu'une partie du fluide reste engagée entre les aspérités de la paroi et y forme un enduit aqueux sur lequel s'opère l'écoulement; mais cet enduit, dont l'épaisseur est nécessairement très-faible, doit suivre et reproduire fidèlement les aspérités de la paroi sans pouvoir les effacer, et dès lors chacune de ces aspérités donne lieu à des tourbillonnements et à des mouvements irréguliers qui troublent l'écoulement général et augmentent les résistances. Les expériences qui ont servi à établir les formules de Prony et d'Eytelwein, bien qu'assez nombreuses, n'offrent cependant pas une variété suffisante pour manifester l'action des diverses natures de paroi. Ces expériences ont presque toutes été exécutées, soit sur de très-petits canaux artificiels en bois, soit sur de grands cours d'eau naturels. Elles n'embrassent donc réellement que deux des cas qui peuvent se présenter. Ne fournissant, en outre, que des résultats isolés et sans corrélation entre eux, elles ne pouvaient même, comme on le verra plus loin, faire connaître la forme analytique de la fonction la plus propre à représenter les phénomènes. Aussi l'exactitude des formules admises a-t-elle déjà été contestée par plusieurs ingénieurs, notamment par M. Dupuit, dans ses Études sur le mouvement des eaux courantes[2]. Lors de la construction des fontaines publiques de Dijon, M. Darcy constata que le débit d'un aqueduc revêtu en ciment est notablement supérieur à celui qu'indiquaient les formules de Prony et d'Eytelwein[3].

[1] *Formules et tables nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes*, 1851.

[2] *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes*, 1848, p. 49 et suiv.

[3] *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856, p. 367-374.

De nouvelles recherches étaient donc nécessaires pour combler une lacune aussi fâcheuse dans la science ; il fallait opérer sur un grand nombre de canaux établis dans des conditions variées, et déterminer directement, pour chaque nature de paroi, le coefficient spécial qui lui est propre.

Expériences préliminaires faites en 1855 sur le canal de Marseille.

2. Une première série d'expériences préliminaires fut faite en mai 1855, à la prière de M. Darcy, par M. l'ingénieur en chef Baumgarten. Le canal de Marseille, qui présente une grande variété de profils, fut choisi pour ces expériences, qui sont au nombre de six. M. Baumgarten en fit, en outre, une septième sur le canal de Craponne. Le débit et la vitesse moyenne ont été déterminés dans chaque cas en mesurant la vitesse du courant en un grand nombre de points de la section transversale, soit à l'aide du tube jaugeur, soit à l'aide du moulinet hélicoïdal. Les principaux résultats de ces expériences sont renfermés dans le tableau suivant.

SÉRIE N° 1.

EXPÉRIENCES SUR LE CANAL DE MARSEILLE ET SUR LE CANAL DE CRAPONNE.

(14, 17, 18, 20 et 23 mai 1855.)

NUMÉROS des expériences.	PENTE PAR MÈTRE I	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,00372	5,174	0,4585	3,127	0,000174
2	0,00084	4,070	0,5406	1,693	[1] 0,000211
3	0,029	1,244	0,2158	3,423	0,000534
4	0,060	1,244	0,1876	4,246	0,000624
5	0,0121	1,244	0,2686	2,312	0,000608
6	0,014	1,244	0,2545	2,549	0,000548
7	0,00043	4,748	0,8750	0,773	0,000630

[1] Le régime du courant n'était pas complétement uniforme dans l'expérience n° 2 ; la valeur de A a dû, pour ce motif, subir une correction. Cette correction a été calculée à l'aide de la formule du mouvement varié, en se servant des éléments donnés dans l'Appendice.

Ces expériences comprennent plusieurs natures de parois bien distinctes, savoir :

Expérience n° 1. — *Pont aqueduc de Roquefavour.* La cuvette de ce pont (voir planche V, fig. 1 et 6) présente une surface très-unie ; le fond est revêtu de ciment, les côtés de briques bien rejointoyées.

Expérience n° 2. — *Pont aqueduc de Crau (canal de Craponne).* La cuvette est en pierre de taille (voir planche V, fig. 8). Sa surface est unie, sans cependant l'être autant que sur le pont aqueduc de Roquefavour.

Expériences n°s 3, 4, 5 et 6. — *Canaux en maçonnerie de moellons (dérivation de Long-champ)* (voir planche V, fig. 2, 3, 4 et 5). Le parement de ces maçonneries est peu uni et présente une assez grande résistance à l'écoulement.

Expérience n° 7. — *Canal en terre à Réaltore* (voir planche V, fig. 7). La section du canal est à peu près un trapèze ; le fond est couvert de vase.

Les valeurs obtenues par M. Baumgarten pour le coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$ diffèrent beaucoup de celles que fourniraient les formules de Prony et d'Eytelwein. On peut en juger par le tableau suivant, où ces différentes valeurs sont en regard les unes des autres.

NUMÉROS des expériences.	VALEURS DE A		
	d'après L'EXPÉRIENCE.	d'après LA FORMULE DE PRONY.	d'après LA FORMULE D'EYTELWEIN.
1	0,000174	0,000323	0,000374
2	0,000211	0,000335	0,000380
3	0,000534	0,000322	0,000373
4	0,000624	0,000319	0,000372
5	0,000608	0,000328	0,000376
6	0,000548	0,000326	0,000375
7	0,000630	0,000366	0,000397

On voit que la valeur expérimentale de A n'est que la moitié

de la valeur calculée pour l'expérience n° 1, tandis qu'elle s'élève presque au double pour l'expérience n° 7.

Expériences comparatives de 1856.

3. Les résultats obtenus par M. Baumgarten démontraient déjà que la nature de la paroi a une grande influence sur l'écoulement; mais la diversité des pentes et des débits dans ces expériences rend les comparaisons assez difficiles. Afin de mettre plus complétement en lumière ce fait important, il fallait construire de toutes pièces des canaux de pentes et de dimensions semblables, et y faire couler des volumes d'eau égaux, de telle sorte que toutes les circonstances de l'écoulement fussent identiques, sauf toutefois la nature de la paroi dont il s'agissait de constater l'influence. Ces expériences ont eu lieu en 1856. On recouvrit une partie de la rigole en planches, décrite dans la première partie, de revêtements divers, savoir :

1° De ciment pur;

2° De briques posées à plat;

3° De petit gravier de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre, maintenu par un enduit en ciment sur lequel il était en saillie;

4° De gros gravier de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre, maintenu de la même manière.

(Voir planche VI.) On fit couler dans chacun des canaux rectangulaires ainsi construits les douze débits de $0^{mc},100$, $0^{mc},203$..... Les résultats de ces quatre séries d'expériences sont renfermés dans les tableaux suivants.

SÉRIE N° 2.

CANAL RECTANGULAIRE EN CIMENT.

Pente de $0^m,0049$ par mètre.

(21, 22 et 23 octobre 1856.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0511	1,018	0,000242
2	0,203	0,0766	1,338	0,000210
3	0,307	0,0982	1,537	0,000204
4	0,411	0,1144	1,731	0,000187
5	0,515	0,1312	1,853	0,000187
6	0,618	0,1445	1,984	0,000180
7	0,721	0,1579	2,081	0,000179
8	0,824	0,1701	2,171	0,000177
9	0,927	0,1813	2,258	0,000174
10	1,030	0,1925	2,326	0,000174
11	1,133	0,2026	2,397	0,000173
12	1,236	0,2123	2,460	0,000172

SÉRIE N° 3.

CANAL RECTANGULAIRE EN BRIQUES.

Pente de $0^m,0049$ par mètre.

(28, 29 août, 1, 2 et 3 septembre 1856.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0586	0,839	0,000408
2	0,203	0,0865	1,117	0,000340
3	0,307	0,1114	1,274	0,000336
4	0,411	0,1291	1,440	0,000305
5	0,515	0,1467	1,555	0,000297
6	0,618	0,1646	1,626	0,000305
7	0,721	0,1775	1,731	0,000290
8	0,824	0,1889	1,831	0,000276
9	0,927	0,2037	1,874	0,000284
10	1,030	0,2124	1,973	0,000267
11	1,133	0,2252	2,012	0,000273
12	1,236	0,2374	2,047	0,000277

SÉRIE N° 4.

CANAL RECTANGULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER.

Pente de $0^m,0049$ par mètre.

(9, 10, 11 et 13 octobre 1856.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0761	0,658	0,000862
2	0,203	0,1087	0,898	0,000661
3	0,307	0,1373	1,038	0,000625
4	0,411	0,1585	1,170	0,000567
5	0,515	0,1791	1,263	0,000550
6	0,618	0,1963	1,350	0,000528
7	0,721	0,2134	1,415	0,000523
8	0,824	0,2274	1,487	0,000504
9	0,927	0,2393	1,562	0,000481
10	1,030	0,2536	1,603	0,000483
11	1,133	0,2654	1,655	0,000475
12	1,236	0,2772	1,697	0,000472

SÉRIE N° 5.

CANAL RECTANGULAIRE REVÊTU DE GROS GRAVIER.

Pente de $0^m,0049$ par mètre.

(16, 17, 18, 19 et 25 septembre 1856.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0888	0,547	0,001454
2	0,203	0,1270	0,741	0,001132
3	0,307	0,1554	0,884	0,000974
4	0,411	0,1788	0,998	0,000880
5	0,515	0,2000	1,086	0,000830
6	0,618	0,2170	1,173	0,000772
7	0,721	0,2354	1,229	0,000763
8	0,824	0,2509	1,289	0,000740
9	0,927	0,2642	1,350	0,000710
10	1,030	0,2771	1,403	0,000690
11	1,133	0,2882	1,458	0,000664
12	1,236	0,3009	1,493	0,000661

Il faut ajouter à ces expériences celles qui ont été faites sur le revêtement primitif en planches. Elles forment trois séries correspondant aux trois pentes différentes de 0,00208, 0,0049 et 0,00824 (voir planche VII)[1].

SÉRIES N°s 6, 7 et 8.

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES.
Pentes de 0^m,00208, 0^m,0049, 0^m,00824 par mètre.
(Décembre 1856.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT par seconde Q	SÉRIE N° 6. PENTE DE 0,00208. (17, 18, 19 et 20 décembre 1856.) Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	SÉRIE N° 7. PENTE DE 0,0049. (10, 11, 12, 13, 15 et 16 déc. 1856.) Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	SÉRIE N° 8. PENTE DE 0,00824. (10, 11, 12, 13, 15 et 16 déc. 1856.) Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.cub.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0733	0,635	0,000378	0,0573	0,826	0,000411	0,0447	1,074	0,000319
2	0,203	0,1106	0,819	0,000343	0,0830	1,127	0,000320	0,0703	1,348	0,000319
3	0,307	0,1381	0,962	0,000311	0,1042	1,325	0,000291	0,0882	1,594	0,000286
4	0,411	0,1609	1,076	0,000289	0,1224	1,479	0,000274	0,1041	1,776	0,000272
5	0,515	0,1832	1,152	0,000287	0,1382	1,612	0,000260	0,1197	1,902	0,000273
6	0.618	0,1976	1,259	0,000259	0,1535	1,711	0,000257	0,1313	2,053	0,000257
7	0,721	0,2146	1.324	0,000255	0,1668	1,808	0,000250	0,1420	2,186	0,000245
8	0,824	0,2313	1,374	0,000255	0,1789	1,898	0,000243	0,1543	2,268	0,000247
9	0,927	0,2441	1,440	0,000245	0,1913	1,967	0,000242	0,1649	2,357	0,000244
10	1,030	0,2578	1,487	0,000242	0,2018	2,045	0,000236	0,1744	2,447	0,000240
11	1,133	0,2681	1,552	0,000231	0,2129	2,102	0,000236	0,1842	2,518	0,000239
12	1,236	0,2809	1,587	0,000232	0,2215	2,179	0,000229	0,1919	2,612	0,000232

[1] Immédiatement après la construction de la rigole, le second vannage de jaugeage n'étant pas encore établi, on a fait quelques expériences d'essai en ouvrant complétement les quatre orifices du vannage de prise d'eau qui pouvaient débiter jusqu'à 3 mètres cubes par seconde. Ces expériences ont donné les résultats suivants :

	PENTES PAR MÈTRE de 0^m,00208	de 0^m,0049	de 0^m,00824
Profondeur moyenne du courant...	0,7211	0,5146	0,4303
Rayon moyen.....	0,4181	0,3391	0,3004
Vitesse moyenne.....	1,960	2,746	3,284
Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$.....	0,000226	0,000220	0,000230

Le débit était de 2^mc,812 par seconde.

Il est peut-être à regretter que l'on n'ait pu opérer dans la suite avec des vo-

4. Les résultats obtenus sur les trois pentes présentent quelques différences sur lesquelles nous reviendrons plus loin. Nous ne nous occuperons, quant à présent, que de la série n° 7, parce que la pente est la même que celle des séries n°s 2, 3, 4 et 5. Nous aurons donc, en les réunissant, cinq séries d'expériences faites avec des débits parfaitement égaux sur des canaux rectangulaires de même pente et presque de même largeur; le plus étroit (canal en ciment) avait $1^m,81$, le plus large (canal en planches) $1^m,99$ de largeur. Toutes les circonstances du phénomène étaient donc identiques, et les différences que l'on constate dans les résultats ne peuvent être attribuées qu'à l'influence de la paroi. Ces différences sont très-considérables; la valeur du coefficient A varie en effet :

Pour le canal revêtu en ciment, de.	0,000242 à 0,000172
——— en planches, de	0000,411 à 0,000229
——— en briques, de.	0,000408 à 0,000277
——— en petit gravier, de. . .	0,000862 à 0,000472
——— en gros gravier, de. . .	0,001454 à 0,000661

Les valeurs de ce même coefficient, calculées d'après la formule de Prony, seraient comprises dans des limites bien moins étendues; la plus petite (série n° 2, exp. n° 12) serait 0,000327, et la plus grande (série n° 5, exp. n° 1) 0,000389.

5. L'influence capitale qu'exerce la nature de la paroi était incontestable en principe après les expériences faites sur les tuyaux de conduite par M. Darcy; elle se trouve donc démontrée d'une manière encore plus frappante pour les canaux découverts.

On verra, dans le cours de cet ouvrage, de nombreux exemples de cette action de la paroi. Bornons-nous, quant à présent, à citer

lumes d'eau aussi considérables; mais il eût fallu arrêter la navigation dans plusieurs biefs du canal de Bourgogne. Ces expériences ne présentent pas d'ailleurs autant de garanties d'exactitude que celles qui ont été faites après l'établissement du second vannage de jaugeage, parce qu'il n'était pas possible de maintenir la charge bien constante.

l'un des plus saillants, qui s'est produit dans des expériences sur des canaux à section demi-circulaire (voir le chapitre suivant). Le canal construit au début de ces recherches avait $1^{m},25$ de diamètre et $0^{m},0015$ de pente par mètre. Il était en ciment mélangé d'un tiers de sable siliceux très-fin, et débitait, lorsque le niveau de l'eau atteignait la hauteur du centre, $1^{mc},03$ environ par seconde. Ce canal fut reconstruit peu de temps après suivant la même pente et avec des dimensions transversales identiques, mais en n'employant que du ciment pur. Bien que dans le premier cas les aspérités produites par la présence du sable siliceux fussent à peine visibles, le débit se trouva par la suppression de ce sable augmenté d'un dixième et porté à $1^{mc},13$ par seconde.

La présence de moisissures légères dans des canaux en bois suffit de même pour altérer notablement les résultats. Ce fait est complétement analogue à celui que M. Darcy a constaté dans les tuyaux de conduite, où l'oxydation des parois intérieures suffisait pour faire varier le débit.

Expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne en 1857 et 1859.

6. Le vaste système d'alimentation du canal de Bourgogne renferme plusieurs rigoles établies dans des conditions variées et présentant de grandes facilités pour des recherches expérimentales. En 1857 et 1859, nous fîmes sur ces rigoles, suivant le désir de M. Darcy, un assez grand nombre d'expériences dont les résultats seront rapportés en détail dans le chapitre III. Il suffira d'indiquer ici les plus saillants. On a opéré sur des rigoles en maçonnerie qui ont fourni des résultats semblables à ceux que M. Baumgarten avait obtenus sur le canal de Marseille; on a expérimenté également sur des rigoles en terre. Ces dernières présentaient un assez grand intérêt pratique, car les circonstances dans lesquelles on opérait se reproduisent fréquemment dans les applications. Sans avoir la régularité de canaux construits dans un but scientifique, elles étaient cependant en bon état d'entretien; les expériences faites avec beaucoup de soin, et sur de grandes longueurs, ont conduit à des coefficients extrêmement différents de ceux que donneraient les formules admises. On peut en juger par le tableau

suivant, qui résume les plus saillants, en présentant en regard les valeurs de A d'après les formules de Prony et d'Eytelwein.

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	VALEURS DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$		
	d'après L'EXPÉRIENCE.	d'après la formule DE PRONY.	d'après la formule D'EYTELWEIN.
RIGOLE DE GROSBOIS. — Section en terre complétement dépourvue d'herbes (voir série n° 49).....	0,001005 (Exp. n° 1)	0,000472	0,000455
	0,000749 (Exp. n° 4)	0,000407	0,000420
MÊME RIGOLE. — Section en terre avec un peu d'herbes sur les talus (voir série n° 48).....	0,001946 (Exp. n° 1)	0,000459	0,000448
	0,000948 (Exp. n° 4)	0,000392	0,000411
RIGOLE DE CHAZILLY. — Section en terre à peu près dépourvue d'herbes; terrain pierreux (voir série n° 38).....	0,001942 (Exp. n° 1)	0,000425	0,000429
	0,001300 (Exp. n° 4)	0,000383	0,000406
RIGOLE DE DÉCHARGE DU BIEF, n° 52. — Section en terre revêtue d'un perré (voir série n° 34).....	0,002331 (Exp. n° 1)	0,000343	0,000385
	0,001003 (Exp. n° 5)	0,000325	0,000375
MÊME RIGOLE. — Après que la mousse qui existait sur le perré eut été grattée (voir série n° 35).	0,001024 (Exp. n° 1)	0,000335	0,000380
	0,000547 (Exp. n° 5)	0,000322	0,000373

La divergence entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées est très-considérable. Les expériences sur la rigole de décharge du bief n° 52 présentent encore un exemple frappant de l'influence exercée sur l'écoulement par l'état de la paroi. Les talus et le fond de cette rigole étaient revêtus d'un perré à pierres sèches recouvert de mousse. Lorsque cette mousse eut été grattée, le coefficient A fut réduit à moins de moitié de ce qu'il était précédemment, bien que la présence de cette végétation ne diminuât pas la section d'écoulement d'une manière appréciable.

Formules d'interpolation.

7. Ces divers exemples démontrent assez à quelles erreurs peut conduire l'emploi d'une formule unique ne tenant aucun compte de la nature de la paroi. Une formule générale embrassant tous les cas serait certainement très-commode pour la pratique. Malheureusement cette uniformité n'existe que bien rarement, et l'expres-

sion des lois physiques renferme presque toujours un coefficient spécifique variable avec la nature des corps soumis à l'expérience.

S'il existe une loi analytique pouvant embrasser tous les cas, cette loi doit nécessairement être très-complexe, et la connaissance des phénomènes qui accompagnent le mouvement des fluides est trop peu avancée pour que l'on puisse songer à la découvrir quant à présent. Dans l'état actuel de la science, il faut donc se borner à rechercher des formules empiriques satisfaisant avec une approximation suffisante aux besoins de la pratique et se prêtant facilement aux calculs.

D'après la remarque faite pour la première fois par Dubuat, le coefficient $\frac{RI}{U^2}$ diminue lorsque R et U augmentent. En examinant les séries d'expériences rapportées plus haut, il est facile de voir en outre que cette diminution se ralentit progressivement, et que $\frac{RI}{U^2}$ tend à devenir constant dans un même canal à mesure que le débit augmente. Soit α la limite vers laquelle il paraît converger, on peut admettre qu'il est lié aux quantités R et U par une relation de la forme

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + f(R, U)$$

la fonction $f(R, U)$ tendant à devenir nulle pour de grandes valeurs de R et de U. Les deux formes les plus simples que l'on puisse donner à cette fonction sont $\frac{\beta}{R}$ et $\frac{\beta}{U}$, β étant une nouvelle constante. La première conduit à l'équation

$$(1) \quad RI = \left(\alpha + \frac{\beta}{R}\right) U^2$$

par laquelle M. Darcy a représenté les résultats de ses expériences sur les tuyaux de conduite.

La seconde, à l'équation

$$(2) \quad RI = \beta U + \alpha U^2$$

qui n'est autre chose que la formule binôme en usage.

L'une ou l'autre de ces deux équations peut indifféremment servir à représenter les séries d'expériences précédentes. On peut

s'en assurer par une simple construction graphique, qui aura en même temps l'avantage de manifester clairement aux yeux la différence qui existe entre les résultats des diverses séries.

8. Les deux équations (1) et (2) peuvent s'écrire : Représentation graphique des séries nos 2, 3, 4, 5 et 7.

$$\frac{RI}{U^2}=\alpha+\frac{\beta}{R} \qquad \frac{RI}{U^2}=\alpha+\frac{\beta}{U}$$

Figurons chaque expérience par un point dont l'ordonnée Y soit la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ et l'abscisse X la valeur correspondante de $\frac{1}{R}$ ou de $\frac{1}{U}$. Si les deux formules précédentes peuvent servir à représenter les résultats de la série d'expériences que l'on considère, la courbe passant par les points obtenus à l'aide de cette construction se confondra sensiblement avec la ligne droite ayant pour équation $Y=\alpha+\beta X$.

La représentation graphique des séries nos 2, 3, 4, 5 et 7 se trouve sur la planche VIII; les courbes de la figure 1 ont été obtenues en prenant $\frac{1}{R}$, celles de la figure 2 $\frac{1}{U}$ pour abscisse. On voit qu'elles diffèrent très-peu de lignes droites, mais qu'elles s'écartent énormément les unes des autres. Sur la figure 2 on a indiqué, en outre, les lignes droites qui correspondraient aux formules de Prony et Eytelwein,

$$\frac{RI}{U^2}=0{,}000309+\frac{0{,}000044}{U}$$

$$\frac{RI}{U^2}=0{,}000366+\frac{0{,}000024}{U}$$

ainsi que la courbe par laquelle est représentée la formule de M. de Saint-Venant,

$$\frac{RI}{U^2}=0{,}000401\left(\frac{1}{U}\right)^{\frac{1}{11}}$$

Cette comparaison graphique manifeste plus clairement que ne pourraient le faire des calculs numériques la dissemblance des résultats.

Les deux formules (1) et (2) peuvent donc toutes deux servir à représenter les expériences faites sur un même canal, pourvu que l'on détermine dans chaque cas particulier les coefficients α et

β d'une manière convenable. Cette détermination peut même se faire graphiquement. Les points correspondants aux expériences d'une même série étant situés sur une zone assez étroite et sensiblement rectiligne, si l'on trace dans l'intérieur de cette zone une droite de manière à passer le plus près possible de tous les points, α n'est autre chose que l'ordonnée du point où cette ligne vient couper l'axe des ordonnées, et β est la tangente de l'angle qu'elle forme avec l'axe des abscisses. On obtiendrait ainsi les valeurs approchées des coefficients cherchés[1].

DÉSIGNATION des SÉRIES D'EXPÉRIENCES.	1re FORMULE $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$		2e FORMULE $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{U}$	
	α	β	α	β
Série n° 2. — Canal en ciment...	0,000149	0,000005	0,000118	0,000127
Série n° 7. — *Idem* en planches..	0,000177	0,000012	0,000127	0,000217
Série n° 3. — *Idem* en briques...	0,000208	0,000014	0,000162	0,000218
Série n° 4. — Canal revêtu de petit gravier.....	0,000326	0,000040	0,000226	0,000411
Série n° 5. — Canal revêtu de gros gravier.....	0,000329	0,000100	0,000201	0,000685

Les droites qui correspondent à ces diverses formules d'interpolation sont figurées sur la planche par des lignes ponctuées.

[1] Ces formules et celles que l'on rencontrera plus loin ont été déterminées non-seulement à l'aide de cette construction graphique, mais encore par le calcul. Les deux méthodes, se contrôlant mutuellement, permettent d'éliminer les anomalies expérimentales qui fausseraient quelquefois les résultats. Le procédé de calcul que nous avons le plus souvent employé revient, chaque expérience étant, comme plus haut, représentée graphiquement par un point, 1° à déterminer l'ordonnée Y du centre de gravité de tous les points; 2° à partager l'ensemble de ces points en deux groupes, comprenant : le premier, ceux dont l'ordonnée est moindre que Y; le deuxième, ceux dont l'ordonnée est plus grande que Y, et à prendre pour la droite cherchée celle qui joint les centres de gravité des deux groupes de points. Cette droite passe évidemment par le centre de gravité général.

9. On peut remarquer dès à présent que les deux coefficients α et β croissent en même temps lorsque la résistance à la paroi augmente, mais le second beaucoup plus rapidement que le premier. Les variations du coefficient $\frac{RI}{U^2}$ dans un même canal sont donc d'autant plus prononcées que la résistance des parois est plus considérable.

Nouvelles expériences comparatives en 1858 et 1859.

10. Les deux formules (1) et (2) paraissent jusqu'à présent également admissibles, et rien dans ce qui précède ne peut indiquer à laquelle il convient de donner la préférence. Il fallait, pour trancher cette question, les soumettre à une nouvelle épreuve, en comparant les résultats que l'on obtient dans un même canal dont on fait varier progressivement la pente. Ces études comparatives ont eu lieu en 1858 et 1859. A cette époque, le plancher formant primitivement le fond de la rigole avait perdu sa régularité; on en établit un nouveau par-dessus, en lui donnant trois pentes différentes, savoir :

Pente de 0m,0015	par mètre sur	150	mètres de longueur.
——— 0m,0059	*id.*	100	*id.*
——— 0m,00886	*id.*	80	*id.*

Il fallait, en outre, pouvoir faire varier la résistance à la paroi et la graduer à volonté, de telle sorte que cette paroi fût identique sur les trois pentes.

Cette parfaite égalité de résistance sans laquelle ces expériences comparatives auraient perdu une grande partie de leur valeur était assez difficile à obtenir à l'aide de revêtements en maçonnerie, en gravier, etc. L'exécution de semblables revêtements eût d'ailleurs été longue et dispendieuse. On eut recours, pour créer une paroi uniformément résistante, au procédé suivant : sur le fond et sur les côtés de la rigole en planches on cloua transversalement des liteaux en bois de 0m,027 de largeur et 0m,01 d'épaisseur. Ces liteaux n'étaient pas complétement jointifs; ils furent d'abord placés à 0m,01, puis à 0m,05 les uns des autres. La surface lisse de la rigole en planches se trouvait ainsi remplacée par une sur-

face uniformément couverte de petites rainures équidistantes d'un centimètre de profondeur (voir planche VII, fig. 8 et 9).

Chacune des trois pentes fut successivement recouverte de ces liteaux; on opéra donc sur trois natures différentes de paroi, en comptant la paroi primitive en planches, soit, en tout, neuf séries complètes d'expériences (voir planche VII). Afin d'abréger la durée de ces opérations, qui était fort longue, on réduisit de douze à sept le nombre des expériences de chaque série, en supprimant celles qui avaient lieu avec les nombres impairs des vannes 3, 5, 7, 9, 11.

SÉRIES N°s 9, 10 ET 11.

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES.

Pentes de 0^m,0015, 0,^m0059, 0^m,00839 par mètre.

(Avril, mai et juin 1858.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT par seconde Q	SÉRIE N° 9. PENTE DE 0,0015. (22, 23, 27, 28, 29 et 30 avril, 1er mai 1858.)			SÉRIE N° 10. PENTE DE 0,0059. (22, 23, 27, 28, 29 et 30 avril, 1er mai 1858.)			SÉRIE N° 11. PENTE DE 0,00839[1]. (25, 27, 28 et 29 mai, 1 et 3 juin 1858.)		
		Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.cub.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0842	0,548	0,000420	0,0524	0,910	0,000373	0,0446	1,080	0,000321
2	0,203	0,1237	0,724	0,000354	0,0776	1,213	0,000311	0,0684	1,394	0,000296
3	0,411	0,1799	0,945	0,000302	0,1147	1,595	0,000266	0,1019	1,830	0,000255
4	0,618	0,2194	1,106	0,000269	0,1440	1,847	0,000249	0,1292	2,100	0,000246
5	0,824	0,2513	1,234	0,000247	0,1688	2,039	0,000240	0,1525	2,306	0,000241
6	1,030	0,2781	1,343	0,000231	0,1900	2,206	0,000230	0,1721	2,495	0,000232
7	1,236	0,3042	1,420	0,000226	0,2091	2,349	0,000223	0,1894	2,664	0,000224

[1] La pente générale du canal sur lequel ont été exécutées les expériences des séries n°s 11, 14 et 17, était de 0^m,00886 par mètre; mais les calculs de la série n° 11 ont été faits en considérant seulement la partie inférieure de ce canal, où le régime du courant était plus régulier. La pente de cette section, un peu moindre que la pente générale, n'était que de 0^m,00839 par mètre.

SÉRIES N°s 12, 13 ET 14.

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0^m,01.
Pentes de 0^m,0015, 0^m,0059, 0^m,00886 par mètre.
(Janvier, février et mai 1859.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT par SECONDE Q	SÉRIE N° 12[1]. PENTE DE 0,0015. (9, 18 et 19 février 1859.)			SÉRIE N° 13. PENTE DE 0,0059. (5, 6, 7 et 8 janvier 1859.)			SÉRIE N° 14. PENTE DE 0,00886. (3, 5, 6 et 7 mai 1859.)		
		Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.cub.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0921	0,502	0,000548	0,0626	0,762	0,000636	0,0556	0,868	0,000654
2	0,203	0,1346	0,663	0,000459	0,0922	1,017	0,000526	0,0831	1,144	0,000563
3	0,411	0,1932	0,871	0,000396	0,1347	1,342	0,000441	0,1227	1,500	0,000483
4	0,618	0,2361	1,014	0,000368	0,1684	1,549	0,000414	0,1520	1,758	0,000436
5	0,824	0,2710	1,122	0,000352	0,1959	1,716	0,000392	0,1775	1,946	0,000415
6	1,030	0,3004	1,213	0,000338	0,2182	1,872	0,000367	0,2005	2,091	0,000406
7	1,236	0,3281	1,278	0,000338	0,2409	1,974	0,000365	0,2214	2,212	0,000401

SÉRIES N°s 15, 16 ET 17.

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0^m,05.
Pentes de 0^m,0015, 0^m0059, 0^m,00886 par mètre.
(Mai et décembre 1858.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT par SECONDE Q	SÉRIE N° 15. PENTE DE 0,0015. (11, 15, 17, 18, 20 et 21 mai 1858.)			SÉRIE N° 16. PENTE DE 0,0059. (4 et 6 décembre 1858.)			SÉRIE N° 17. PENTE DE 0,00886. (11, 15, 17, 18, 20 et 21 mai 1858.)		
		Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.cub.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
1	0,100	0,1153	0,390	0,001135	0,0805	0,581	0,001408	0,0706	0,673	0,001379
2	0,203	0,1675	0,513	0,000956	0,1170	0,779	0,001138	0,1067	0,869	0,001253
3	0,411	0,2367	0,674	0,000782	0,1687	1,028	0,000942	0,1551	1,142	0,001053
4	0,618	0,2870	0,777	0,000713	0,2092	1,184	0,000880	0,1913	1,331	0,000956
5	0,824	0,3270	0,857	0,000668	0,2410	1,314	0,000824	0,2210	1,478	0,000896
6	1,030	0,3649	0,904	0,000670	0,2688	1,418	0,000789	0,2476	1,591	0,000867
7	1,236	0,3960	0,949	0,000659	0,2942	1,498	0,000773	0,2699	1,698	0,000829

Le régime du courant n'était pas parfaitement uniforme dans les expériences de la série n° 12; les valeurs de A correspondantes aux cinq dernières expériences ont dû, pour ce motif, subir une correction. Cette correction a été calculée à l'aide de la formule du mouvement varié, en se servant des éléments donnés dans l'Appendice.

11. Les neuf séries précédentes forment trois groupes parfaitement comparables, qui sont, en commençant par les parois les moins résistantes :

1° Parois en planches (séries nos 9, 10 et 11); la valeur de A varie de 0,000420 à 0,000223.

2° Parois en planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,01$ (séries nos 12, 13 et 14); A varie de 0,000654 à 0,000338.

3° Parois en planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,05$ (séries nos 15, 16 et 17); A varie de 0,001408 à 0,000659.

Ces chiffres fournissent encore un nouvel exemple de l'énorme influence exercée par l'état de la paroi. La surface supérieure de tous les liteaux était comprise dans un même plan parfaitement parallèle au fond de la rigole; l'eau comprise dans les rainures formées par leurs intervalles successifs n'ayant pas de mouvement de translation sensible, on aurait pu penser que la présence de ces rainures influait peu sur l'écoulement général. On voit, au contraire, que l'addition des liteaux espacés de $0^m,05$ a triplé la valeur du coefficient A.

Représentation graphique des séries nos 9 à 17.

12. Pour comparer les résultats de ces neuf séries, nous aurons recours au procédé graphique déjà employé plus haut, c'est-à-dire que nous représenterons chacune d'elles par une courbe ayant pour ordonnées les valeurs de A et pour abscisses celles de $\frac{1}{R}$ ou de $\frac{1}{U}$. Ces courbes sont figurées sur la planche IX.

Considérons d'abord celles qui ont pour abscisses $\frac{1}{R}$ (fig. 1). Les trois courbes de chaque groupe correspondant à une même nature de paroi sont peu éloignées les unes des autres; elles se coupent même en quelques points, soit qu'il doive en être réellement ainsi, soit que des anomalies accidentelles aient suffi pour intervertir l'ordre dans lequel elles doivent se présenter; elles sont tellement rapprochées que l'on pourrait sans inconvénient les considérer comme identiques. Il faut en excepter toutefois la courbe relative à la série n° 9 (canal en planches, pente de $0^m,0015$ par mètre) qui s'écarte notablement des deux autres courbes du même

groupe; mais cet écart, assez sensible pour les petites valeurs de R, va en diminuant lorsque R augmente, et devient peu important dès que R dépasse $0^m,20$ [1].

L'aspect des courbes d'un même groupe est tout différent lorsque l'on prend pour abscisse $\frac{1}{U}$ (fig. 2); elles s'éloignent alors énormément les unes des autres. Celle qui est relative à la plus faible pente est toujours la plus rapprochée de l'axe des abscisses; les autres s'en éloignent progressivement à mesure que la pente augmente, et l'écart est tellement grand qu'il est manifestement impossible de comprendre dans une même formule les expériences faites sur des pentes différentes, surtout lorsqu'il s'agit de parois assez résistantes. Si l'on compare, en effet, sur la figure les valeurs de A correspondantes à une même valeur de U, 1 mètre par exemple, on a approximativement :

	VALEURS DE A POUR UNE PENTE PAR MÈTRE DE		
	$0^m,0015$	$0^m,0059$	$0^m,00886$
Parois en planches	0,000290	0,000350	0,000360
Parois en planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,01$	0,000370	0,000530	0,000610
Parois en planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,05$	0,000620	0,000970	0,001140

Les divergences sont très-grandes, puisque A varie presque du simple au double; elles augmenteraient encore si l'on considérait des pentes plus différentes. Nous ne déterminerons pas ici, comme nous l'avons fait pour les cinq séries représentées sur la planche VIII, la formule d'interpolation particulière à chaque série. L'aspect de la figure suffit pour faire voir que, dans le cas

[1] La ligne figurative de la série n° 9, au lieu d'être à peu près rectiligne comme les autres, présente une courbure marquée; elle conduirait à une formule d'interpolation assez différente au premier abord de celle que nous avons obtenue pour la série n° 7. Les deux formules donneraient néanmoins, sauf pour les petites valeurs de R, des valeurs de A peu différentes.

où l'on prend pour abscisse $\frac{1}{U}$, la droite $Y = \alpha + \beta X$, qui représente la formule d'interpolation, va en s'éloignant de l'axe des abscisses à mesure que la pente augmente; son inclinaison sur cet axe va elle-même en croissant, de telle sorte que les deux coefficients α et β augmentent tous deux en même temps.

Impossibilité de conserver la formule binôme en usage.

13. La formule $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{U}$, qui n'est autre chose que la formule binôme ordinairement usitée, doit donc être abandonnée, et l'expression $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$ paraît beaucoup plus propre à représenter les phénomènes. Ses deux coefficients ne sont pas, il est vrai, complétement indépendants de la pente; mais ils varient dans des limites beaucoup moins étendues que ceux de la formule binôme.

Les expériences dont disposaient MM. de Prony et Eytelwein ne permettaient pas de reconnaître facilement que les coefficients α et β doivent aller en croissant avec la pente. On ne pouvait apercevoir cette loi en groupant des résultats isolés entre lesquels la diversité des sections et des parois rend toute comparaison presque impossible. Il fallait, pour dégager l'influence de la pente, éliminer préalablement les autres éléments variables, en opérant sur des canaux semblables; il fallait, en outre, posséder pour chacun d'eux un nombre d'expériences suffisant pour en déduire avec quelque certitude une expression analytique de la loi qui lie les résultats entre eux. Si l'on examine les 99 expériences contenues dans le Recueil des cinq tables de M. de Prony, on n'en trouve qu'un petit nombre qui puissent se prêter à un semblable travail de comparaison. On doit, en effet, exclure d'abord presque toutes celles qui ont été faites sur des cours d'eau naturels; ces expériences, en raison des difficultés d'exécution qu'elles présentent et des anomalies nombreuses qu'elles renferment, sont peu propres à mettre en évidence l'expression d'une loi théorique. Celles de Dubuat, sur des canaux en bois, sont les seules sur lesquelles il soit possible de faire un rapprochement, dont le résultat est d'ailleurs conforme à ce que nous avons vu plus haut; mais

les différences ne sont pas aussi tranchées qu'elles l'eussent été en opérant sur des canaux à surface moins unie.

La supériorité pratique de la formule $\alpha+\frac{\beta}{R}$ résulte de ce que ses deux coefficients varient en sens inverse lorsque l'on modifie la pente I du canal : en effet, quand I augmente, α augmente aussi et β au contraire diminue. Il s'établit ainsi une sorte de compensation, par suite de laquelle les formules obtenues pour plusieurs pentes, bien que différentes au premier abord, donnent néanmoins dans les limites ordinaires des applications des valeurs de A presque identiques, et par suite peuvent sans inconvénient être remplacées par une formule unique à coefficients moyens. Il n'en est plus de même pour l'expression $\alpha+\frac{\beta}{U}$, dont les coefficients augmentent tous deux rapidement avec la pente du canal.

CHAPITRE II.

INFLUENCE DE LA FORME GÉOMÉTRIQUE DE LA SECTION SUR L'ÉCOULEMENT.

14. De toutes les causes qui peuvent modifier l'écoulement dans un canal dont la pente et la section sont déterminées, la nature de la paroi est sans contredit la plus importante. Mais la figure de la section transversale exerce aussi, quoique dans une proportion beaucoup moindre, une certaine influence. Les canaux que l'on rencontre dans les applications ont ordinairement un profil rectangulaire ou trapézoïdal; quelquefois cependant ce profil est triangulaire, comme dans certains fossés, dont la largeur au fond est petite relativement à la profondeur, ou bien encore présente la forme d'un arc de cercle, comme le radier de certaines rigoles en maçonnerie.

Ces quatre cas ont été successivement étudiés et ont fait l'objet de plusieurs séries d'expériences. Nous examinerons d'abord les sections dont le profil transversal est formé de lignes droites (rectangle, trapèze ou triangle); puis celles dont le profil est complétement curviligne, en prenant pour exemple des canaux demi-circulaires. Nous considérerons, en terminant, le cas particulier où la section est très-petite, cas dans lequel les lois constatées précédemment ne paraissent plus complétement applicables.

1° SECTIONS RECTANGULAIRES, TRAPÉZOÏDALES ET TRIANGULAIRES.

15. On a expérimenté sur six canaux en planches de forme différente, savoir :

1° Trois canaux rectangulaires ayant $1^m,197$, $0^m,80$ et $0^m,48$ de largeur (voir planche X, fig. 1, 2, 3, 4, 5 et 6).

2° Deux canaux trapézoïdaux : le premier avait 1 mètre de largeur au plafond et des talus inclinés à 45°; le deuxième avait $0^m,945$ de largeur au plafond; l'une des deux parois latérales était inclinée à 45°, l'autre était verticale (voir planche X, fig. 7, 8, 10 et 11).

3° Un canal triangulaire avec talus inclinés à 45° (voir planche X, fig. 9 et 12).

Les résultats de ces six séries d'expériences sont renfermés dans les tableaux suivants.

SÉRIE N° 18.

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES DE $1^m,197$ DE LARGEUR.

Pente de $0^m,0049$ par mètre.

(23, 24, 25 et 27 février 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0717	1,026	0,000333
2	0,203	0,1039	1,349	0,000280
3	0,307	0,1304	1,538	0,000270
4	0,411	0,1517	1,690	0,000260
5	0,515	0,1700	1,811	0,000254
6	0,618	0,1864	1,907	0,000251
7	0,721	0,2016	1,981	0,000252
8	0,824	0,2143	2,062	0,000247
9	0,927	0,2259	2,133	0,000243
10	1,030	0,2369	2,195	0,000241
11	1,133	0,2462	2,263	0,000235
12	1,236	0,2557	2,313	0,000234

SÉRIE N° 19.

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES DE $0^m,80$ DE LARGEUR.

Pente de $0^m,0043$ par mètre.

(2, 6, 10, 11, 12 et 18 mars 1858.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,054	0,0651	0,868	0,000372
2	0,100	0,0911	1,059	0,000349
3	0,155	0,1110	1,261	0,000300
4	0,203	0,1257	1,384	0,000282
5	0,259	0,1404	1,497	0,000269
6	0,307	0,1522	1,561	0,000269
7	0,363	0,1631	1,648	0,000258
8	0,411	0,1717	1,708	0,000253
9	0,515	0,1885	1,806	0,000248
10	0,618	0,2017	1,898	0,000241
11	0,721	0,2132	1,974	0,000235

SÉRIE N° 20.

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES DE $0^m,48$ DE LARGEUR.

Pente de $0^m,006$ par mètre.

(23, 26, 27 et 29 avril 1859.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,054	0,0723	1,087	0,000367
2	0,078	0,0857	1,218	0,000347
3	0,093	0,0928	1,281	0,000339
4	0,100	0,0965	1,290	0,000348
5	0,129	0,1057	1,423	0,000313
6	0,155	0,1133	1,505	0,000300
7	0,179	0,1198	1,558	0,000296
8	0,203	0,1257	1,602	0,000294
9	0,233	0,1314	1,673	0,000282

SÉRIE N° 21.

CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES. — PAROIS LATÉRALES INCLINÉES À 45°.
Pente de 0m,0015 par mètre.
(5, 6, 7 et 8 janvier 1859.)

NUMÉROS des expériences	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,1018	0,730	0,000287
2	0,203	0,1477	0,892	0,000279
3	0,307	0,1785	1,021	0,000257
4	0,411	0,2052	1,102	0,000253
5	0,515	0,2268	1,175	0,000247
6	0,618	0,2466	1,228	0,000245
7	0,721	0,2635	1,281	0,000241
8	0,824	0,2776	1,339	0,000232
9	0,927	0,2923	1,376	0,000231
10	1,030	0,3055	1,415	0,000229
11	1,133	0,3192	1,452	0,000227
12	1,236	0,3343	1,485	0,000227

SÉRIE N° 22.

CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES; L'UNE DES PAROIS LATÉRALES VERTICALE, L'AUTRE INCLINÉE À 45°.
Pente de 0m,0049 par mètre.
(23 et 24 juillet 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0785	1,090	0,000323
2	0,203	0,1099	1,436	0,000261
3	0,307	0,1370	1,612	0,000258
4	0,411	0,1575	1,765	0,000248
5	0,515	0,1739	1,905	0,000235
6	0,618	0,1903	1,985	0,000237
7	0,721	0,2028	2,089	0,000228
8	0,824	0,2155	2,150	0,000228
9	0,927	0,2257	2,247	0,000219
10	1,030	0,2361	2,308	0,000217
11	1,133	0,2459	2,365	0,000215
12	1,236	0,2551	2,416	0,000214

SÉRIE N° 23.

CANAL TRIANGULAIRE EN PLANCHES. — PAROIS LATÉRALES INCLINÉES À 45°.

Pente de $0^m,0049$ par mètre.

(11, 13 et 14 juillet 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,0997	1,258	0,000309
2	0,203	0,1287	1,531	0,000269
3	0,307	0,1505	1,694	0,000257
4	0,411	0,1672	1,837	0,000243
5	0,515	0,1821	1,940	0,000237
6	0,618	0,1961	2,008	0,000238
7	0,721	0,2081	2,081	0,000235
8	0,824	0,2192	2,143	0,000234
9	0,927	0,2293	2,203	0,000231
10	1,030	0,2388	2,257	0,000230
11	1,133	0,2482	2,299	0,000230
12	1,236	0,2557	2,363	0,000224

16. On voit immédiatement que les valeurs de A diffèrent peu en passant d'une série à l'autre. Comparons-les cependant avec celles qui ont été obtenues plus haut sur des canaux rectangulaires en planches d'une plus grande largeur (voir chap. 1). Pour être rigoureuse, cette comparaison doit être faite en rapprochant les résultats obtenus sur des pentes à peu près égales. Les cinq séries d'expériences n°s 18, 19, 20, 22 et 23, dans lesquelles la pente est égale à $0^m,0049$ par mètre, ou en diffère peu, devront donc être rapprochées de la série n° 7 (canal rectangulaire en planches, de $1^m,99$ de largeur, pente de $0^m,0049$ par mètre). Quant à la série n° 21, pour laquelle la pente n'est que de 0,0015, elle doit être comparée à la série n° 9 (canal rectangulaire en planches de $1^m,99$ de largeur, pente de 0,0015).

Les formules d'interpolation auxquelles conduisent les séries n°s 7 et 9 sont :

$$(1^{\circ}\ \text{Série n}^{\circ}\ 7.)\ A = 0{,}000177 + \frac{0{,}000012}{R}$$

$$(2^{\circ}\ \text{Série n}^{\circ}\ 9.)\ A = 0{,}000153 + \frac{0{,}000024}{R}$$

Afin de juger si ces formules sont applicables aux expériences précédentes, comparons chacune des valeurs expérimentales de A avec celle que l'on obtiendrait en substituant dans l'une de ces deux formules la valeur correspondante de R.

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 18. VALEURS DE A		SÉRIE N° 19. VALEURS DE A		SÉRIE N° 20. VALEURS DE A		SÉRIE N° 21. VALEURS DE A		SÉRIE N° 22. VALEURS DE A		SÉRIE N° 23. VALEURS DE A	
	d'après l'expérience.	d'après la formule (1).	d'après l'expérience.	d'après la formule (1).	d'après l'expérience.	d'après la formule (1).	d'après l'expérience.	d'après la formule (2).	d'après l'expérience.	d'après la formule (1).	d'après l'expérience.	d'après la formule (1).
1	0,000333	0,000344	0,000372	0,000361	0,000367	0,000343	0,000287	0,000389	0,000323	0,000330	0,000309	0,000297
2	0,000280	0,000292	0,000349	0,000309	0,000347	0,000317	0,000279	0,000315	0,000261	0,000286	0,000269	0,000270
3	0,000270	0,000269	0,000300	0,000285	0,000339	0,000306	0,000257	0,000287	0,000258	0,000265	0,000257	0,000257
4	0,000260	0,000256	0,000282	0,000272	0,000348	0,000301	0,000253	0,000270	0,000248	0,000253	0,000243	0,000249
5	0,000254	0,000248	0,000269	0,000262	0,000313	0,000290	0,000246	0,000259	0,000235	0,000246	0,000237	0,000243
6	0,000251	0,000241	0,000269	0,000256	0,000300	0,000283	0,000245	0,000250	0,000237	0,000240	0,000238	0,000238
7	0,000252	0,000237	0,000258	0,000251	0,000296	0,000277	0,000241	0,000244	0,000228	0,000236	0,000235	0,000235
8	0,000247	0,000233	0,000253	0,000247	0,000294	0,000272	0,000232	0,000239	0,000228	0,000233	0,000234	0,000232
9	0,000243	0,000230	0,000248	0,000241	0,000282	0,000268	0,000231	0,000235	0,000219	0,000230	0,000231	0,000229
10	0,000241	0,000228	0,000241	0,000236			0,000229	0,000232	0,000217	0,000228	0,000230	0,000227
11	0,000235	0,000226	0,000235	0,000233			0,000227	0,000228	0,000215	0,000226	0,000230	0,000225
12	0,000234	0,000224					0,000227	0,000225	0,000214	0,000224	0,000224	0,000224

Les différences entre les valeurs expérimentales et les valeurs calculées de A sont peu importantes. Les deux ou trois premières expériences de la série n° 21 présentent seules une différence marquée ; mais elles renferment évidemment des anomalies et conduisent à des valeurs de A beaucoup trop faibles. Il est clair, en effet, que, lorsque la hauteur de l'eau dans un canal trapézoïdal est très-petite, l'inclinaison des parois latérales n'exerçant plus qu'une faible influence, on doit obtenir à peu près les mêmes résultats que si le canal était simplement rectangulaire ; les diver-

gences que l'on constate dans ce cas ne peuvent être attribuées qu'à des erreurs d'expérience.

La série n° 20 renferme aussi quelques anomalies assez saillantes; ces anomalies sont presque inévitables lorsque l'on opère sur des canaux de petites dimensions et que la vitesse d'écoulement est assez grande. La plus légère irrégularité de la paroi, la moindre variation dans la largeur et dans la pente produisent des perturbations considérables, et, quelque soin que l'on prenne pour les éviter, le profil longitudinal du courant est fortement ondulé.

17. La figure de la section transversale ne paraît donc pas exercer une influence assez grande pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte dans les applications lorsque cette figure est un rectangle, un trapèze ou un triangle. Les expériences comparatives qui nous ont conduit à ce résultat n'ont été faites, il est vrai, que sur des parois en planches; il paraît néanmoins vraisemblable que des parois plus résistantes conduiraient à des conclusions analogues.

2° SECTIONS DEMI-CIRCULAIRES.

18. Passons maintenant au cas où le profil transversal est formé par un arc de cercle. Quatre canaux demi-circulaires ont été établis suivant une même pente de $0^m,0015$ par mètre (voir planche XI):

1° Canal demi-circulaire de $1^m,25$ de diamètre, en ciment pur;

2° *Idem* de $1^m,25$ de diamètre, en ciment mélangé d'un tiers de sable siliceux très-fin;

3° *Idem* de $1^m,40$ de diamètre, en planches;

4° *Idem* de $1^m,22$ de diamètre, revêtu de gravier de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre, maintenu par un enduit en ciment.

SÉRIE N° 24.

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT PUR.

Pente de $0^m,0015$ par mètre.

(29 et 30 septembre, 1er et 2 octobre 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,1116	0,921	0,000197
2	0,203	0,1533	1,135	0,000179
3	0,307	0,1844	1,267	0,000173
4	0,411	0,2080	1,401	0,000159
5	0,515	0,2286	1,483	0,000156
6	0,618	0,2465	1,562	0,000151
7	0,721	0,2642	1,612	0,000153
8	0,824	0,2790	1,681	0,000148
9	0,927	0,2893	1,754	0,000141
10	1,030	0,3025	1,803	0,000140
11	1,133	0,3137	1,847	0,000138
12	1,163	0,3153	1,862	0,000137

SÉRIE N° 25.

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT MÉLANGÉ D'UN TIERS DE SABLE SILICEUX TRÈS-FIN.

Pente de $0^m,0015$ par mètre.

(11, 12, 14 et 15 septembre 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,1154	0,875	0,000226
2	0,203	0,1612	1,047	0,000221
3	0,307	0,1937	1,179	0,000209
4	0,411	0,2153	1,311	0,000188
5	0,515	0,2399	1,375	0,000190
6	0,618	0,2558	1,463	0,000179
7	0,721	0,2743	1,506	0,000182
8	0,824	0,2869	1,584	0,000172
9	0,927	0,2997	1,640	0,000167
10	0,983	0,3067	1,670	0,000165
11	1,030	0,3114	1,691	0,000163
12	1,086	0,3165	1,726	0,000159

SÉRIE N° 26.

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN PLANCHES.

Pente de 0m,0015 par mètre.

(14, 18, 19, 20, 21 et 28 août 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,1189	0,795	0,000283
2	0,203	0,1636	0,984	0,000253
3	0,307	0,1926	1,132	0,000226
4	0,411	0,2187	1,230	0,000217
5	0,515	0,2425	1,297	0,000216
6	0,618	0,2610	1,374	0,000207
7	0,721	0,2806	1,413	0,000211
8	0,824	0,2937	1,486	0,000200
9	0,927	0,3093	1,524	0,000200
10	1,030	0,3213	1,579	0,000193
11	1,133	0,3341	1,612	0,000193
12	1,236	0,3442	1,660	0,000187
13	1,296	0,3511	1,689	0,000185

SÉRIE N° 27 [1].

CANAL DEMI-CIRCULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER DE 0m,01 À 0m,02 DE DIAMÈTRE.

Pente de 0m,0015 par mètre.

(27, 29, 30 et 31 octobre, 3 et 4 novembre 1857.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,100	0,1383	0,663	0,000534
2	0,155	0,1665	0,763	0,000493
3	0,203	0,1888	0,820	0,000489
4	0,259	0,2076	0,892	0,000466
5	0,307	0,2227	0,929	0,000464
6	0,363	0,2389	0,983	0,000457
7	0,411	0,2518	1,014	0,000463
8	0,515	0,2744	1,079	0,000457
9	0,618	0,2951	1,137	0,000450
10	0,721	0,3086	1,204	0,000427

[1] Le régime du courant n'était pas parfaitement uniforme dans les expériences

19. Les parois en ciment pur, en planches, en petit gravier de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre, avaient déjà fait l'objet d'expériences rapportées dans le chapitre précédent; mais la paroi en ciment mélangé de sable siliceux n'avait pas encore été étudiée. Elle ne pourra donc servir, comme les trois autres, à établir une comparaison ayant pour objet de manifester l'influence de la forme demi-circulaire du canal. Les résultats auxquels elle conduit sont néanmoins intéressants, parce qu'ils démontrent d'une manière frappante combien le plus léger changement dans l'état de la paroi peut agir sur l'écoulement. En effet, les deux canaux demi-circulaires de $1^m,25$ de diamètre en ciment pur et en ciment mélangé de sable avaient exactement les mêmes dimensions et la même pente, et cependant ils étaient loin de débiter le même volume lorsque le niveau de l'eau atteignait le diamètre. La différence est même assez notable, quoique la présence du sable de Saône très-fin qui avait été mélangé au ciment n'eût pas changé sensiblement l'aspect de la paroi.

Laissant de côté la série n° 25, nous allons répéter sur les trois autres le travail de comparaison déjà fait plus haut sur les canaux à section trapézoïdale, c'est-à-dire rapprocher leurs résultats de ceux que nous avons obtenus sur des canaux rectangulaires ayant des parois de même nature. Nous rapprocherons donc :

La série n° 24 de la série n° 2, dont la formule d'interpolation est :

$$(3)\ A = 0{,}000149 + \frac{0{,}000005}{R}$$

La série n° 26 de la série n° 9, dont la formule d'interpolation est :

$$(4)\ A = 0{,}000153 + \frac{0{,}000024}{R}$$

La série n° 27 de la série n° 4, dont la formule d'interpolation est :

$$(5)\ A = 0{,}000326 + \frac{0{,}000040}{R}$$

de la série n° 27; les valeurs de A ont dû, pour ce motif, subir une correction. Cette correction a été calculée à l'aide de la formule du mouvement varié, en se servant des éléments donnés dans l'Appendice.

Cette comparaison numérique conduit aux résultats suivants :

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 24. VALEURS DE A		SÉRIE N° 26. VALEURS DE A		SÉRIE N° 27. VALEURS DE A	
	d'après l'expérience.	d'après la formule (3).	d'après l'expérience.	d'après la formule (4).	d'après l'expérience.	d'après la formule (5).
1	0,000197	0,000194	0,000283	0,000355	0,000534	0,000615
2	0,000179	0,000182	0,000253	0,000300	0,000493	0,000566
3	0,000173	0,000176	0,000226	0,000278	0,000489	0,000538
4	0,000159	0,000173	0,000217	0,000263	0,000466	0,000519
5	0,000156	0,000171	0,000216	0,000252	0,000464	0,000506
6	0,000151	0,000169	0,000207	0,000245	0,000457	0,000493
7	0,000153	0,000168	0,000211	0,000239	0,000463	0,000485
8	0,000148	0,000167	0,000200	0,000235	0,000457	0,000472
9	0,000141	0,000166	0,000200	0,000231	0,000450	0,000462
10	0,000140	0,000166	0,000193	0,000228	0,000427	0,000456
11	0,000138	0,000165	0,000193	0,000225		
12	0,000137	0,000165	0,000187	0,000223		
13			0,000185	0,000221		

On voit par ce tableau que les valeurs de A fournies par l'expérience sont notablement inférieures aux valeurs calculées. Leur rapport est environ 0,85 pour la série n° 26 (paroi en planches); pour les deux autres ce rapport est moins régulier, parce que l'on n'a pu comparer des canaux de même pente. La série n° 27 renferme, en outre, quelques anomalies provenant de ce que le régime du courant n'était pas complétement uniforme; aussi la comparaison n'est-elle parfaitement concluante que pour la série n° 26. La résistance à l'écoulement est donc notablement moindre dans un canal arrondi qui ne présente aucun angle vif à l'intérieur. Ce fait s'explique très-facilement lorsque l'on étudie la distribution des vitesses dans l'intérieur d'un courant. On reconnaît en effet que, dans un canal rectangulaire, la vitesse dans les angles est très-petite relativement à la vitesse moyenne, de telle sorte que cette partie de la section ne contribue que pour une faible part au débit total. Dans un canal circulaire, au contraire, la vitesse est

la même sur toute l'étendue de la paroi, et diffère moins de la vitesse moyenne. C'est donc avec beaucoup de raison que l'on adopte souvent pour le profil transversal de la cuvette des égouts une forme à peu près circulaire. Cette figure est celle qui donne le maximum d'écoulement pour une pente et une section données.

3° CAS DANS LEQUEL LA SECTION EST TRÈS-PETITE.

20. Passons maintenant au cas où la section est extrêmement petite. Quatre séries d'expériences ont été faites à ce sujet dans un petit canal rectangulaire en bois de $0^m,10$ de largeur et 19 mètres de longueur. Une prise d'eau, établie sur une des conduites des fontaines de Dijon, fournissait un débit sensiblement constant, que l'on pouvait graduer à volonté, et qui était jaugé très-exactement dans une caisse en bois d'un mètre carré. On a d'abord donné à ce petit canal des pentes de $0^m,0047$ et $0^m,0152$ par mètre. Pour obtenir ensuite une paroi plus résistante, on l'a recouvert d'une forte toile soigneusement clouée, et l'on a donné au canal ainsi modifié des pentes de $0^m,0081$ et $0^m,0152$ par mètre (voir planche XI).

SÉRIE N° 28.

CANAL RECTANGULAIRE EN BOIS DE $0^m,10$ DE LARGEUR.

Pente de $0^m,0047$ par mètre.

(19 décembre 1859.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,000298	0,0089	0,273	0,000563
2	0,000916	0,0158	0,395	0,000478
3	0,001625	0,0202	0,481	0,000410
4	0,002224	0,0228	0,530	0,000383
5	0,003120	0,0257	0,592	0,000344
6	0,003991	0,0277	0,643	0,000315
7	0,004308	0,0284	0,658	0,000308

SÉRIE N° 29.

CANAL RECTANGULAIRE EN BOIS DE $0^m,10$ DE LARGEUR.

Pente de $0^m,0152$ par mètre.

(26 et 27 décembre 1859.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,000639	0,0092	0,571	0,000427
2	0,001240	0,0131	0,701	0,000405
3	0,001955	0,0162	0,818	0,000367
4	0,002706	0,0186	0,914	0,000338
5	0,004453	0,0225	1,086	0,000290

SÉRIE N° 30.

CANAL RECTANGULAIRE EN BOIS DE $0^m,10$ DE LARGEUR,

RECOUVERT INTÉRIEUREMENT D'UNE FORTE TOILE.

Pente de $0^m,0081$ par mètre.

(2, 3 et 5 janvier 1860.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,000281	0,0116	0,218	0,001973
2	0,000451	0,0139	0,270	0,001546
3	0,000757	0,0169	0,339	0,001188
4	0,001246	0,0205	0,405	0,001015
5	0,001885	0,0239	0,459	0,000921
6	0,004385	0,0311	0,572	0,000768

SÉRIE N° 31.

CANAL RECTANGULAIRE EN BOIS DE $0^m,10$ DE LARGEUR, RECOUVERT INTÉRIEUREMENT D'UNE FORTE TOILE.

Pente de $0^m,0152$ par mètre.

(28 et 29 décembre 1859.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	0,000203	0,0093	0,209	0,003218
2	0,000347	0,0121	0,251	0,002920
3	0,000721	0,0156	0,364	0,001793
4	0,000808	0,0164	0,381	0,001712
5	0,001382	0,0200	0,472	0,001364
6	0,001520	0,0205	0,494	0,001282
7	0,002446	0,0242	0,582	0,001084
8	0,003517	0,0272	0,647	0,000990
9	0,004372	0,0291	0,681	0,000955

21. Représentons graphiquement ces expériences suivant le mode adopté jusqu'à présent (voir planche XII). Considérons d'abord la figure 1, dans laquelle $\frac{1}{R}$ est pris pour abscisse. La ligne figurative de chaque série n'est plus complétement rectiligne; elle présente, au contraire, une courbure marquée. Sa concavité est tournée vers l'axe des abscisses pour les séries n°s 28 et 29; elle est en sens contraire pour les séries n°s 30 et 31, qui correspondent à la paroi plus résistante recouverte de toile. Si l'on examine ensuite dans quel ordre ces courbes se présentent à partir de l'axe des abscisses, on voit que pour les séries n°s 28 et 29 la courbe correspondante à la plus forte pente est la plus rapprochée de cet axe, tandis que pour les séries n°s 30 et 31 elle en est au contraire la plus éloignée. Cette disposition est conforme à ce que l'on a pu constater dans le chapitre précédent (voir planche IX, fig. 1). En prenant pour abscisses $\frac{1}{U}$ (fig. 2), on ob-

tient des lignes dont la courbure est beaucoup moins marquée ; elles sont même presque droites et présentent toutes un caractère nouveau. Leur direction prolongée passe très-près de l'origine des coordonnées, de telle sorte que le coefficient α de la formule $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{U}$ devient négligeable devant β; cette formule se réduit donc à

$$\frac{RI}{U^2} = \frac{\beta}{U} \text{ ou } \frac{RI}{U} = \beta$$

c'est-à-dire que le rapport $\frac{RI}{U}$ devient constant. Si l'on calcule, en effet, la valeur de ce rapport pour chacune des expériences, on obtient les nombres suivants :

NUMÉROS des expériences.	VALEURS DE $\frac{RI}{U}$			
	SÉRIE N° 28.	SÉRIE N° 29.	SÉRIE N° 30.	SÉRIE N° 31.
1	0,000154	0,000244	0,000430	0,000673
2	0,000189	0,000284	0,000417	0,000734
3	0,000197	0,000300	0,000403	0,000653
4	0,000203	0,000309	0,000411	0,000652
5	0,000204	0,000315	0,000423	0,000643
6	0,000203		0,000440	0,000632
7	0,000203			0,000631
8				0,000640
9				0,000650
Moyennes..	0,000193	0,000290	0,000421	0,000656

La valeur de $\frac{RI}{U}$ va en croissant avec la pente, et l'on voit sur la figure que la courbe correspondante à la plus forte pente est toujours la plus éloignée de l'axe des abscisses. L'augmentation des coefficients de l'expression $\alpha + \frac{\beta}{U}$ avec la pente, augmentation que nous avons déjà eu lieu de constater, est donc un fait général, qui subsiste même dans le cas exceptionnel que nous considérons maintenant.

22. Le rapport $\frac{RI}{U}$ devient également constant dans les tuyaux de conduite lorsque la vitesse d'écoulement est très-faible.

« Il paraîtrait, dit M. Darcy, lorsqu'il s'agit de vitesses très-faibles « obtenues dans des tuyaux de petit diamètre, que ces vitesses « croîtraient proportionnellement aux pentes..... mais, à partir « des vitesses de $0^m,10$ à $0^m,12$ par seconde, cette loi paraît s'ar- « rêter; de plus elle semble disparaître entièrement dans les con- « duites recouvertes de dépôts [1]. »

Les expériences desquelles M. Darcy a tiré cette conclusion sont les suivantes.

	VITESSES U	PENTES I	VALEUR DU RAPPORT $\frac{RI}{U}$
	mèt.		
Expériences sur un tuyau en fer étiré de $0^m,0122$ de diamètre.....	0,0344	0,00085	0,000150
	0,0718	0,00184	0,000156
	0,1170	0,00304	0,000158
		Moyenne..	0,000155
Expériences sur un tuyau en fer étiré de $0^m,0266$ de diamètre.....	0,0353	0,00020	0,000075
	0,0383	0,00023	0,000089
	0,0404	0,00025	0,000082
	0,0578	0,00033	0,000076
	0,0860	0,00055	0,000085
		Moyenne..	0,000081
Expériences sur une conduite en tôle et bitume de $0^m,0268$ de diamètre.....	0,0300	0,00022	0,000098
	0,0920	0,00067	0,000098
		Moyenne..	0,000098

La plus grande des vitesses comprises dans ce tableau est

[1] *Recherches expérimentales relatives au mouvement de l'eau dans les tuyaux*, 1857, p. 76 et 210.

$0^m,117$. Pour des vitesses supérieures, le rapport $\frac{RI}{U}$ augmente rapidement, tandis que dans un canal découvert il peut rester constant pour des vitesses beaucoup plus grandes si la section est petite.

Mais il faut remarquer que l'analogie entre les deux ordres de phénomènes n'est qu'apparente. Dans le tuyau, le rayon R est constant et la pente I croît avec le débit; dans le canal découvert, au contraire, I est constant, et c'est R qui augmente avec le débit. La vitesse est donc proportionnelle à I dans le premier cas et à R dans le second.

23. Les expériences sur le petit canal en bois de $0^m,10$ de largeur ne peuvent être comparées d'une manière précise aux autres expériences sur des parois en planches. Ce petit canal était, en effet, très-uni, et présentait un degré de poli comparable à celui d'un enduit en ciment très-régulier; il avait été creusé dans quatre pièces de sapin de 4 à 5 mètres de longueur, assemblées bout à bout, de telle sorte qu'il n'existait que trois joints sur toute sa longueur, circonstance qui contribuait encore à diminuer la résistance à l'écoulement. Nous terminerons ici ce qui concerne ces expériences, et nous résumerons en peu de mots les résultats contenus dans ce chapitre.

24. La figure du profil transversal d'un canal ne paraît pas exercer une influence importante sur l'écoulement, c'est-à-dire que si l'on considère des canaux de formes différentes, mais construits avec une même nature de paroi, ils débiteront à peu près le même volume d'eau lorsque R et I seront les mêmes. Toutefois il existe une différence marquée à l'avantage des canaux dont le profil, complétement curviligne, ne présente aucun angle; dans ce cas, le débit peut surpasser de près d'un dixième celui que l'on obtiendrait dans une section de forme polygonale. Les profils curvilignes réguliers se rencontrant assez rarement, on pourra en général ne pas tenir compte, dans la pratique, de la forme de la section.

Dans le cas particulier où la section est très-petite, le rap-

port $\frac{RI}{U}$ devient constant pour un même canal, c'est-à-dire qu'alors la vitesse U est simplement proportionnelle à R. Des sections aussi petites que celles qui ont fait l'objet des séries n°s 28, 29, 30 et 31, ne se rencontrent, il est vrai, presque jamais dans les applications, et ces expériences ne présentent qu'un intérêt purement théorique.

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES PRATIQUES SUR LES RIGOLES DU CANAL DE BOURGOGNE.

Les expériences pratiques sur les rigoles du canal de Bourgogne sont assez nombreuses et forment dix-neuf séries, savoir :

1° Expériences sur la rigole de décharge du réservoir de Grosbois, deux séries (nos 32 et 33);

2° Expériences sur la rigole de décharge du bief n° 52, deux séries (nos 34 et 35);

3° Expériences sur les rigoles de Chazilly et Grosbois, quinze séries (nos 36 à 50).

1° EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU RÉSERVOIR DE GROSBOIS.

25. Cette rigole, destinée à conduire dans la Brenne l'excédant des eaux que reçoit le réservoir lorsqu'il est plein, est construite en moellons piqués, rejointoyés en ciment. Elle a $1^{m},80$ de largeur au fond, et les côtés, presque verticaux, n'ont qu'un fruit de $\frac{1}{10}$. La paroi était très-régulière, bien que quelques joints fussent dégradés; le fond était en outre recouvert d'un léger dépôt limoneux très-adhérent, qui s'est maintenu quoique la vitesse d'écoulement fût extrêmement grande.

L'eau a été tirée du réservoir de Grosbois à l'aide de quatre orifices carrés en tôle de $0^{m},50$ de côté, débitant chacun $0^{mc},749$. La pente de la rigole est de $0^{m},101$ par mètre dans la partie supérieure, et de $0^{m},037$ dans la partie inférieure. (Voir pl. XIII, fig. 1.)

SÉRIES Nos 32 ET 33.

EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU RÉSERVOIR DE GROSBOIS.
Pente de $0^m,101$ et $0^m,037$ par mètre.
(20 mai 1857.)

numéros des expériences	DÉBIT par seconde Q	SÉRIE N° 32. PENTE DE 0,101. Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	SÉRIE N° 33. PENTE DE 0,037. Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
1	0,749	0,0989	3,747	0,000712	0,1294	2,757	0,000630
2	1,498	0,1424	4,931	0,000591	0,1889	3,494	0,000573
3	2,247	0,1767	5,694	0,000550	0,2272	4,131	0,000493
4	2,996	0,2017	6,429	0,000493	0,2597	4,595	0,000455

Ces expériences sont remarquables par les grandes vitesses observées, vitesses qui dépassent probablement toutes celles qui ont été expérimentées jusqu'à ce jour. La vitesse à la surface a été jusqu'à $9^m,16$ par seconde sur la pente de 0,101. Il eût été intéressant de l'augmenter encore en augmentant le débit, ce que les moyens d'alimentation dont on disposait permettaient de faire facilement; malheureusement on a été contraint de ne pas dépasser le débit de 3 mètres cubes par seconde, afin de ne pas faire déborder la petite rivière dans laquelle s'écoulent les eaux de la rigole.

26. La comparaison des résultats obtenus sur les deux pentes confirme complétement ce que nous avons déjà vu dans le chapitre premier sur la variation des coefficients des formules d'interpolation avec la pente. En effet, les formules auxquelles conduisent les deux séries précédentes sont :

$$\text{Pente de } 0,101 \begin{cases} \frac{RI}{U^2} = 0,000309 + \frac{0,000040}{R} & (1) \\ \frac{RI}{U^2} = 0,000211 + \frac{0,001875}{U} & (2) \end{cases}$$

$$\text{Pente de } 0,037 \begin{cases} \frac{RI}{U^2} = 0,000256 + \frac{0,000053}{R} & (3) \\ \frac{RI}{U^2} = 0,000164 + \frac{0,001348}{U} & (4) \end{cases}$$

Dans les formules (1) et (3) où $\frac{RI}{U^2}$ est exprimé en fonction de R, le terme constant augmente avec la pente, tandis que le terme divisé par R diminue, ainsi que nous avons déjà eu occasion de le constater.

Les formules (2) et (4) présentent de plus cette particularité remarquable, que le coefficient du terme divisé par U est extrêmement grand. La paroi en maçonnerie offrait à peu près le même degré de résistance que la paroi revêtue de petit gravier (série n° 4) dont les formules d'interpolation sont (voir chap. I) :

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000326 + \frac{0{,}000040}{R}$$

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000226 + \frac{0{,}000411}{U}$$

Si le coefficient du terme divisé par U n'augmentait pas avec la pente, les séries n° 32 et 33 auraient dû donner, pour ce coefficient, des valeurs peu différentes de 0,000411 ; mais on a trouvé 0,001348 pour la pente de 0,037, et 0,001875 pour celle de 0,101 ; on voit donc, par ce nouvel exemple, que ce coefficient augmente indéfiniment avec la pente.

Comparaison des résultats précédents avec ceux qu'avait obtenus M. Baumgarten sur le canal de Marseille.

27. Il est intéressant de comparer à ces expériences celles que M. Baumgarten a faites sur le canal de Marseille. (Voir série n° 1, expér. n°s 2, 3, 4 et 5.)

Nous ferons cette comparaison en calculant, pour chacune de ces quatre dernières, la valeur de A à l'aide des formules (1), (2) (3) et (4); en substituant dans ces formules les valeurs expérimentales de R et de U, il vient :

numéros des expériences.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$				
	d'après l'expérience.	d'après la formule (1).	d'après la formule (3).	d'après la formule (2).	d'après la formule (4).
3	0,000534	0,000494	0,000502	0,000759	0,000558
4	0,000624	0,000522	0,000539	0,000653	0,000481
5	0,000608	0,000458	0,000453	0,001022	0,000747
6	0,000548	0,000466	0,000464	0,000946	0,000693

Malgré leur dissemblance apparente, les formules (1) et (3) conduisent à des valeurs de A presque égales. Ces valeurs sont un peu inférieures à celles qu'avait obtenues M. Baumgarten; cette différence peut s'expliquer en remarquant que les petits canaux en maçonnerie, sur lesquels a opéré M. Baumgarten, offraient vraisemblablement plus de résistance à l'écoulement que la rigole de décharge du réservoir de Grosbois, qui est construite avec une très-grande régularité. Les valeurs calculées en fonction de U, à l'aide des formules (2) et (4), sont au contraire très-divergentes et plus fortes que les valeurs expérimentales, qu'elles surpassent quelquefois de plus des deux tiers. La formule (2) donne en effet, pour l'expérience n° 4, $\frac{RI}{U^2} = 0{,}001022$ au lieu de 0,000608[1].

Cette comparaison démontre donc d'une manière bien évidente l'impossibilité de conserver l'ancienne formule binôme.

2° EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU BIEF N° 52.

28. La rigole de décharge du bief n° 52 est en terre, revêtue d'un perré; son profil transversal est un trapèze de $1^m,80$ à 2 mètres de largeur au plafond, avec talus inclinés à environ 3 de base pour 2 de hauteur (pl. XIII). Le perré en moellons posés à sec, qui recouvre les talus, était dans un état de conservation médiocre; il était en outre presque entièrement recouvert de mousse et de gazon. On a d'abord opéré sans modifier en rien l'état de la paroi; puis on l'a grattée et nettoyée avec soin, et l'on a fait une nouvelle série d'expériences, afin de se rendre compte de la modification que ce nettoyage avait apportée à l'écoulement.

L'eau était tirée du canal de Bourgogne à l'aide de deux vannes pouvant débiter jusqu'à 7 mètres cubes par seconde.

[1] Ces formules ont été calculées par la méthode indiquée plus haut, p. 84. En employant d'autres procédés d'interpolation, on pourrait obtenir des expressions un peu différentes, et représentant à peu près aussi bien les résultats des séries n°s 32 et 33. Mais on parviendrait toujours à la conclusion que nous avions principalement en vue, c'est-à-dire à constater l'impossibilité absolue de conserver l'ancienne formule binôme.

SÉRIES Nos 34 ET 35.

EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU BIEF N° 52.

Pentes de 0m,0146 et 0m,0142 par mètre.

(Février 1857.)

numéros des expériences.	SÉRIE N° 34. PENTE DE 0,0146. Le perré n'étant pas encore nettoyé. (1er février 1857.)				SÉRIE N° 35. PENTE de 0,0142. Le perré étant complétement nettoyé. (12 février 1857.)			
	Débit par seconde Q	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	Débit par seconde Q	Rayon moyen R	Vitesse moyenne U	Valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.		mèt. cub.	mèt.	mèt.	
1	1,056	0,2608	1,278	0,002331	1,053	0,2144	1,724	0,001024
2	2,101	0,3312	1,753	0,001574	2,076	0,2836	2,242	0,000801
3	3,928	0,4215	2,195	0,001277	3,933	0,3740	2,725	0,000715
4	5,720	0,4833	2,520	0,001111	5,521	0,4249	3,084	0,000635
5	6,995	0,5162	2,741	0,001003	6,904	0,4544	3,433	0,000547

La mousse et les herbes qui couvraient le perré dans la première série d'expériences ne diminuaient la section que d'une manière insignifiante (pl. XIII, fig. 3 et 5); néanmoins, lorsque cette végétation eut été complétement enlevée, la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ se trouva réduite de plus de moitié.

3° EXPÉRIENCES SUR LES RIGOLES DE CHAZILLY ET DE GROSBOIS.

Dispositions générales adoptées pour les expériences.

29. Ces rigoles, qui conduisent au bief de partage du canal de Bourgogne les eaux des réservoirs de Chazilly et Grosbois, ont un développement considérable. La première a en effet près de 8 kilomètres, et la deuxième 15 kilomètres de longueur. On a opéré sur ces deux rigoles en faisant couler dans chacune d'elles quatre volumes d'eau différents, et pour chacun de ces quatre débits on a relevé exactement le profil en long de la surface du courant et des profils en travers régulièrement espacés de 100 mètres.

L'eau était tirée des réservoirs de Chazilly et Grosbois. La détermination exacte des débits a donné lieu à des opérations assez

compliquées dont on trouvera le détail dans la note C placée à la fin de l'ouvrage.

Le volume d'eau fourni par chacun des réservoirs est jaugé à l'extrémité amont de sa rigole à l'aide d'un déversoir de $1^m,50$ de largeur. (Voir pl. XIV, fig. 2 et 3.) Ce déversoir, formé par des poutrelles de $0^m,08$ d'équarrissage, est placé dans un canal en maçonnerie qui a environ 3 mètres de largeur. La contraction latérale n'est donc pas complète comme dans les expériences de MM. Poncelet et Lesbros; elle n'est pas non plus tout à fait nulle comme dans les barrages types de M. Boileau[1]. Les coefficients déterminés par ces expérimentateurs pour ces deux cas extrêmes n'étant pas applicables, il fallait recourir à des opérations de tarage spéciales. Ces opérations, exécutées dans la rigole murée placée à la suite du déversoir de Grosbois, ont conduit aux valeurs suivantes des débits :

NUMÉROS des expériences.	DÉBITS A L'AMONT de la rigole	
	DE CHAZILLY.	DE GROSBOIS.
	m. c.	m. c.
1	0,336	0,308
2	0,735	0,685
3	1,056	0,978
4	1,393	1,303

30. Les pertes par infiltration étaient négligeables dans la rigole de Grosbois; ouverte dans un terrain argileux, revêtue sur beaucoup de points de chapes en béton, cette rigole est de plus construite en maçonnerie sur près de la moitié de la longueur soumise à l'expérience. (Voir pl. XV.)

Il existait seulement à l'aval de la tranchée de Soussey une

[1] *Traité de la mesure des eaux courantes*, 1854.

prise d'eau dérivant un petit volume d'eau pour les besoins du village de Soussey; en le déduisant du débit total, on a, pour le débit en aval de ce point, les valeurs suivantes :

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT EN AMONT DE LA PRISE D'EAU de Soussey. (Séries nos 44, 45 et 46.)	VOLUME D'EAU DÉRIVÉ PAR LA PRISE D'EAU de Soussey.	DIFFÉRENCE ou débit EN AVAL DE LA PRISE D'EAU de Soussey. (Séries nos 47, 48, 49 et 50.)
	m. c.	m. c	m. c.
1	0,308	0,034	0,274
2	0,685	0,041	0,644
3	0,978	0,045	0,933
4	1,303	0,024	1,279

Les pertes dans la rigole de Chazilly étaient plus importantes et ne pouvaient être négligées. On a vu plus haut quel était le débit à l'extrémité amont de cette rigole. Un déversoir de jaugeage dont les dispositions sont indiquées (pl. XIV, fig. 4 et 5), a permis de le déterminer également à l'extrémité aval, à l'aide d'expériences de tarage spéciales exécutées dans la partie murée dite du Roussot. Le débit était ainsi connu aux deux extrémités de la rigole. On l'a mesuré aussi à l'aide du tube jaugeur vers le milieu de sa longueur totale dans la partie murée du Tillot. Les résultats de ces trois opérations sont réunis dans le tableau suivant :

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT À L'EXTRÉMITÉ AMONT de la rigole.	DÉBIT DANS LA PARTIE MURÉE du Tillot.	DÉBIT À L'EXTRÉMITÉ AVAL de la rigole.	PERTE TOTALE DANS LE PARCOURS de la rigole.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
1	0,336	0,326	0,291	0,045
2	0,735	0,671	0,631	0,104
3	1,056	0,939	0,881	0,175
4	1,393	1,205	1,125	0,268

Ces pertes sont très-appréciables : elles se répartissent d'une manière assez irrégulière entre les deux sections de la rigole ; elles varient en effet beaucoup suivant que l'eau, en s'élevant, vient à recouvrir des parties plus ou moins perméables des talus.

Connaissant le débit en trois points, il a été facile de le déterminer, pour les points intermédiaires, en supposant les pertes à peu près uniformément réparties dans chaque intervalle.

On a obtenu ainsi, pour chacune des huit séries, nos 36 à 43, les débits suivants :

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE n° 36.	SÉRIE n° 37.	SÉRIE n° 38.	SÉRIE n° 39.	SÉRIE n° 40.	SÉRIE n° 41.	SÉRIE n° 42.	SÉRIE n° 43.
	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.	m. c.
1	0,334	0,331	0,327	0,326	0,321	0,307	0,299	0,293
2	0,725	0,702	0,680	0,671	0,666	0,650	0,640	0,634
3	1,037	0,996	0,955	0,939	0,931	0,908	0,895	0,885
4	1,363	1,297	1,231	1,205	1,194	1,162	1,144	1,130

31. En raison de la grande longueur des deux rigoles, il a été possible de les partager en un certain nombre de sections, qui forment l'objet d'autant de séries distinctes d'expériences. Ces sections, choisies dans les parties les plus régulières, sont au nombre de quinze.

RIGOLE DE CHAZILLY.

1re SECTION, série n° 36. (Voir pl. XIV, fig. 6.) — Rigole en terre. Le fond et les talus étaient recouverts d'herbes sur beaucoup de points.

2e SECTION, série n° 37. (Voir pl. XIV, fig. 7.) — Rigole en terre. Terrain pierreux, mais peu d'herbes sur les parois.

3e SECTION, série n° 38. (Voir pl. XIV, fig. 8.) — Rigole en terre dans des conditions analogues à celles de la section précédente. Le terrain était toutefois plus pierreux.

4e SECTION, série n° 39. (Voir pl. XIV, fig. 9.) — Rigole en maçonnerie du Tillot. Section extrêmement régulière ; les parois sont formées par des moellons de grand échantillon piqués avec soin et pouvant être assimilés à de la pierre de taille.

5e SECTION, série n° 40. (Voir pl. XIV, fig. 10.) — Rigole ouverte dans un terrain rocheux, l'un des talus était défendu par des enrochements; très-peu d'herbes.

6e SECTION, série n° 41. (Voir pl. XIV, fig. 11.) — Rigole en terre dans des conditions analogues à celles de la 2e section.

7e SECTION, série n° 42. (Voir pl. XIV, fig. 12.) — Rigole murée du Roussot. Le fond est en terre; la paroi droite est formée par un mur presque vertical en maçonnerie à mortier; la paroi gauche par un perré à pierres sèches plus incliné; pas d'herbes.

8e SECTION, série n° 43. (Voir pl. XIV, fig. 13.) — Rigole en terre; fond et talus en partie couverts d'herbes comme pour la 1re section.

RIGOLE DE GROSBOIS.

1re SECTION, série n° 44. (Voir pl. XV, fig. 2.) — Rigole murée de Grosbois. Le parement est en maçonnerie; quelques joints dégradés çà et là; des pierrailles et de la vase recouvraient le fond sur quelques points; pas d'herbes.

2e SECTION, série n° 45. (Voir pl. XV, fig. 3.) — Rigole souterraine de Soussey. Parement en maçonnerie à mortier plus régulier que celui de la section précédente. Les joints ne sont pas dégradés; aucun dépôt n'existe dans la rigole.

3e SECTION, série n° 46. (Voir pl. XV, fig. 4.) — Rigole en maçonnerie de Soussey. Cette rigole est tout à fait dans les mêmes conditions que la 1re section.

4e SECTION, série n° 47. (Voir pl. XV, fig. 5.) — Rigole en terre. Fond et talus vaseux couverts d'herbes sur quelques points.

5e SECTION, série n° 48. (Voir pl. XV, fig. 6.) — Rigole en terre dans les mêmes conditions que la précédente.

6e SECTION, série n° 49. (Voir pl. XV, fig. 7.) — Rigole en terre. Fond et talus vaseux, mais fort réguliers et complétement dépourvus d'herbes.

7e SECTION, série n° 50. (Voir pl. XV, fig. 8.) — Rigole en terre dans des conditions analogues à celles des 4e et 5e sections.

Les deux rigoles étaient en bon état d'entretien à l'époque des expériences; elles sont assez sinueuses; ces sinuosités sont plus multipliées dans celle de Grosbois que dans celle de Chazilly: mais les rayons des courbes de raccordement sont partout assez grands pour qu'il n'y ait pas de changement brusque dans la direction du courant. La section transversale est fort régulière dans la rigole de Chazilly; elle l'était un peu moins dans celle de Grosbois où le terrain plus argileux offre moins de consistance.

SÉRIES Nos 36 A 50.

EXPÉRIENCES SUR LES RIGOLES DE CHAZILLY ET GROSBOIS.

(Juillet et août 1859.)

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	PENTE PAR MÈTRE I	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{R^2}$
RIGOLE DE CHAZILLY (4, 9, 11 ET 12 AOÛT 1859).					
SÉRIE N° 36.					
	m. c.	mèt.	mèt.	mèt.	
1	0,334	0,000678	0,3466	0,277	0,003053
2	0,725	0,000633	0,4326	0,391	0,001787
3	1,037	0,000644	0,4922	0,443	0,001618
4	1,363	0,000622	0,5300	0,504	0,001296
SÉRIE N° 37.					
1	0,331	0,000792	0,2920	0,376	0,001633
2	0,702	0,000808	0,3672	0,508	0,001150
3	0,996	0,000858	0,4288	0,553	0,001204
4	1,297	0,000842	0,4751	0,609	0,001079
SÉRIE N° 38.					
1	0,327	0,000957	0,2920	0,379	0,001942
2	0,680	0,000929	0,3601	0,519	0,001243
3	0,955	0,000993	0,4283	0,548	0,001415
4	1,231	0,000986	0,4693	0,597	0,001300
SÉRIE N° 39.					
1	0,326	0,0081	0,1238	1,746	0,000329
2	0,671	0,0081	0,1742	2,293	0,000268
3	0,939	0,0081	0,2074	2,495	0,000270
4	1,205	0,0081	0,2336	2,666	0,000266
SÉRIE N° 40.					
1	0,321	0,000936	0,3204	0,329	0,002767
2	0,666	0,000936	0,4167	0,417	0,002240
3	0,931	0,000957	0,4630	0,475	0,001962
4	1,194	0,000964	0,4984	0,522	0,001766
SÉRIE N° 41.					
1	0,307	0,000445	0,3181	0,293	0,001647
2	0,650	0,000450	0,4205	0,386	0,001270
3	0,908	0,000455	0,4780	0,427	0,001191
4	1,162	0,000441	0,5224	0,460	0,001090

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	PENTE PAR MÈTRE I	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
			SÉRIE N° 42.		
	m. c.	mèt.	mèt.	mèt.	
1	0,299	0,000525	0,3045	0,307	0,001693
2	0,640	0,000450	0,4159	0,422	0,001049
3	0,895	0,000462	0,4687	0,482	0,000933
4	1,144	0,000487	0,5080	0,530	0,000882
			SÉRIE N° 43.		
1	0,293	0,000420	0,3243	0,271	0,001851
2	0,634	0,000470	0,4298	0,359	0,001567
3	0,885	0,000470	0,4892	0,398	0,001455
4	1,130	0,000450	0,5373	0,424	0,001345
			RIGOLE DE GROSBOIS (13, 16, 19 ET 21 JUILLET 1859).		
			SÉRIE N° 44.		
1	0,308	0,000300	0,3274	0,341	0,000814
2	0,685	0,000350	0,4201	0,514	0,000556
3	0,978	0,000330	0,4790	0,585	0,000462
4	1,303	0,000300	0,5219	0,663	0,000356
			SÉRIE N° 45.		
1	0,308	0,000305	0,2980	0,403	0,000561
2	0,685	0,000308	0,3944	0,580	0,000362
3	0,978	0,000331	0,4533	0,647	0,000358
4	1,303	0,000347	0,4866	0,754	0,000297
			SÉRIE N° 46.		
1	0,308	0,000648	0,2693	0,449	0,000866
2	0,685	0,000671	0,3755	0,617	0,000663
3	0,978	0,000683	0,4271	0,714	0,000572
4	1,303	0,000683	0,4572	0,847	0,000436
			SÉRIE N° 47.		
1	0,274	0,000464	0,3317	0,250	0,002458
2	0,644	0,000450	0,4204	0,404	0,001159
3	0,933	0,000479	0,4961	0,437	0,001242
4	1,279	0,000493	0,5215	0,513	0,000976

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q	PENTE PAR MÈTRE I	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
			SÉRIE N° 48.		
	m. c.	mèt.	mèt.	mèt.	
1	0,274	0,000555	0,3005	0,293	0,001946
2	0,644	0,000555	0,3952	0,451	0,001079
3	0,933	0,000525	0,4756	0,480	0,001083
4	1,279	0,000515	0,5216	0,532	0,000948
			SÉRIE N° 49.		
1	0,274	0,000250	0,2929	0,270	0,001005
2	0,644	0,000275	0,4013	0,407	0,000667
3	0,933	0,000246	0,4773	0,415	0,000682
4	1,279	0,000275	0,5433	0,447	0,000749
			SÉRIE N° 50.		
1	0,274	0,000310	0,3196	0,249	0,001597
2	0,644	0,000290	0,4315	0,384	0,000848
3	0,933	0,000330	0,5024	0,395	0,001064
4	1,279	0,000330	0,5631	0,430	0,001005

32. Les résultats de ces expériences sont très-variés, et sont loin d'offrir la régularité de ceux qui ont été obtenus sur des canaux construits spécialement pour des recherches expérimentales. Un canal en terre, avec quelque soin qu'il ait d'ailleurs été établi, offre de nombreuses irrégularités; le profil en long de la surface, au lieu de présenter une pente régulière, est toujours sensiblement ondulé, et se modifie même un peu d'un jour à l'autre, suivant les petits changements qui s'opèrent sans cesse dans l'état du lit[1].

[1] On voit, à l'inspection des tableaux précédents, qu'au lieu de rester constante pour toutes les expériences d'une même série, la pente superficielle du courant varie un peu avec le débit : le régime n'était donc jamais rigoureusement uniforme comme dans les canaux d'expérience : néanmoins, nous n'avons pas tenu compte du terme qui, dans la formule du mouvement varié, dépend de la variation des vitesses moyennes : l'introduction de cet élément dans les calculs n'aurait pas modifié leurs résultats d'une manière appréciable.

C'est donc en quelque sorte un état mobile qu'il s'agit de saisir, et si l'on songe, en outre, à la difficulté d'apprécier exactement la section moyenne d'un canal en terre, il est facile de comprendre que l'on doit s'attendre à des anomalies notables. Nous en signalerons, dès maintenant, une qui se reproduit dans les séries nos 37, 38, 47, 48, 49 et 50, et dont il est possible d'assigner la cause probable. Cette anomalie consiste en ce que la valeur de A, pour l'expérience n° 2, au lieu d'être supérieure à celle qui répond à l'expérience n° 3, lui est au contraire un peu inférieure. Ce fait peut s'expliquer de la manière suivante : les rigoles de Chazilly et Grosbois débitent assez rarement pour l'alimentation du canal un volume supérieur à celui de l'expérience n° 2 ($0^{mc},60$ à $0^{mc},70$ par seconde); le niveau le plus habituel de l'eau se trouve même marqué dans plusieurs parties de ces rigoles par de légères corrosions qui sont appréciables sur quelques profils de la planche XV (voir fig. 7 et 8). La partie des talus qui se trouve au-dessus de ce niveau ordinaire, et qui est presque toujours à sec, est généralement couverte d'herbes; c'est sans doute le petit accroissement de résistance produit par la présence de cette végétation qui s'oppose à la diminution du coefficient $\frac{RI}{U^2}$ lorsque le niveau de l'eau s'élève en passant de l'expérience n° 2 à l'expérience n° 3.

Examen comparatif des expériences précédentes.

33. Nous allons maintenant passer en revue les résultats de ces quinze séries d'expériences, en rapprochant dans un même groupe celles qui se rapportent à des natures analogues de paroi.

1° Parois unies en maçonnerie pouvant être assimilées à une paroi en pierre de taille (rigole murée du Tillot, série n° 39).

Ces expériences peuvent être rapprochées de celles de M. Baumgarten sur le pont aqueduc de Crau, dont la cuvette est en pierre de taille (série n° 1, expérience n° 2); elles s'accordent assez bien; on a en effet :

Rigole murée du Tillot...	Série n° 39, expér. n° 1	A = 0,000329	R = $0^m,124$
	Idem, expér. n° 4	A = 0,000266	R = $0^m,234$
Pont aqueduc de Crau....	Série n° 1, expér. n° 2	A = 0,000211	R = $0^m,541$

2° Parois en maçonnerie moins unies (séries nos 44, 45 et 46).

La série n° 45 (rigole souterraine de Soussey) fournit des valeurs de A moindres que celles des deux autres séries; il était facile de le prévoir d'après ce que nous avons dit plus haut de l'état de ces rigoles. Ces valeurs s'accordent, du reste, d'une manière satisfaisante avec celles qui ont été obtenues sur la rigole de décharge du réservoir de Grosbois (séries nos 32 et 33).

Rigole de décharge du réservoir de Grosbois.....	Série n° 32, expér. n° 4	A = 0,000493	R = 0m,202
	Série n° 33, expér. n° 4	A = 0,000455	R = 0m,260
Rigole souterraine de Soussey.....	Série n° 45, expér. n° 2	A = 0,000362	R = 0m,394
	Idem, expér. n° 4	A = 0,000297	R = 0m,487

Les séries nos 44 et 46 conduisent à des valeurs de A notablement plus élevées, surtout pour les petites valeurs de R; cette différence s'explique par les dépôts de vase et les pierrailles qui recouvraient le fond.

3° Parois mixtes en maçonnerie et en terre (rigole murée du Roussot, série n° 42). Cette série fournit, ainsi que l'on pouvait s'y attendre, des résultats intermédiaires entre ceux des précédentes et ceux qui se rapportent aux parois en terre proprement dites.

4° Parois en terre présentant une résistance ordinaire et peu ou pas de végétation (séries nos 37, 41, 47, 48, 49 et 50).

Les résultats de ces six séries ne sont pas très-différents.

DÉSIGNATION des séries.	VALEURS DE A.			
	EXPÉRIENCE N° 1.	EXPÉRIENCE N° 2.	EXPÉRIENCE N° 3.	EXPÉRIENCE N° 4.
Série n° 37.....	0,001633	0,001150	0,001204	0,001079
Série n° 41.....	0,001647	0,001270	0,001191	0,001090
Série n° 47.....	0,002458	0,001159	0,001242	0,000976
Série n° 48.....	0,001946	0,001079	0,001083	0,000948
Série n° 49.....	0,001005	0,000667	0,000682	0,000749
Série n° 50.....	0,001597	0,000848	0,001064	0,001005

Le rayon moyen R variant très-peu d'une série à l'autre, si l'on

fait la moyenne des valeurs de A dans chacune des colonnes verticales de ce tableau et celle des valeurs de R correspondantes, on a (en excluant la valeur 0,002458 qui paraît être une anomalie) :

A = 0,001566 pour R = 0m,305
A = 0,001029 pour R = 0 ,406
A = 0,001078 pour R = 0 ,476
A = 0,000975 pour R = 0 ,525

La 2e et la 3e valeur de A présentent une anomalie dont nous avons déjà fait connaître plus haut l'explication probable. Il est à remarquer que ces résultats se rapprochent beaucoup de ceux de la série n° 34 (rigole de décharge du bief n° 52, perré recouvert de mousse). On avait obtenu, en effet, dans cette dernière rigole :

A = 0,001574 pour R = 0m,331
A = 0,001277 pour R = 0 ,422
A = 0,001111 pour R = 0 ,483
A = 0,001003 pour R = 0 ,516

5° Parois en terre présentant une résistance plus considérable que les précédentes. (Parois recouvertes d'herbes, terrain rocheux; séries nos 36, 38, 40 et 43.) Les trois séries nos 36, 38 et 43 conduisent à des résultats assez concordants, savoir :

DÉSIGNATION des séries.	VALEURS DE A.			
	EXPÉRIENCE N° 1.	EXPÉRIENCE N° 2.	EXPÉRIENCE N° 3.	EXPÉRIENCE N° 4.
Série n° 36	0,003053	0,001787	0,001618	0,001296
Série n° 38	0,001942	0,001243	0,001415	0,001300
Série n° 43	0,001851	0,001567	0,001455	0,001345
MOYENNES	0,002282	0,001532	0,001496	0,001314

Ces valeurs de A sont notablement supérieures à celles qu'avaient fournies les rigoles en terre dans des conditions ordinaires. La rigole ouverte dans un terrain rocheux (série n° 40) donne encore des valeurs un peu supérieures à celles du tableau précédent : ce sont les plus élevées de toutes.

CHAPITRE IV.

FORMULES D'INTERPOLATION PRATIQUES.

34. On a vu, dans les chapitres précédents, combien les lois de l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts paraissent compliquées. La nature de la paroi, la figure du profil transversal, la pente influent à des degrés divers sur les coefficients à employer dans chaque cas; et, si l'on considérait le problème dans toute sa généralité, on serait conduit à une formule spéciale pour chaque canal. Ces difficultés n'existent pas dans les tuyaux de conduite, où le profil transversal est constant et où la pente ne paraît pas exercer une influence sensible sur la valeur des coefficients.

La plus légère altération de la paroi suffit pour modifier l'écoulement d'une manière appréciable; l'analyse ne saurait évidemment tenir compte de ces altérations fortuites, qui peuvent être produites par mille causes diverses, et, dès lors, la recherche d'une formule rigoureuse devient, au point de vue pratique, complétement illusoire. Il faut donc, en sacrifiant quelque chose de la rigueur des considérations théoriques, dégager de l'ensemble des faits observés quelques formules empiriques d'un usage simple et commode.

35. La formule binôme

$$RI = aU + bU^2$$

doit être abandonnée et remplacée par l'expression

$$RI = \left(\alpha + \frac{\beta}{R}\right) U^2$$

Les coefficients α et β ne sont pas tout à fait constants, il est vrai pour une même nature de paroi; nous avons reconnu, en

effet, que α augmente et que β diminue, au contraire, lorsque la pente augmente; néanmoins ces deux coefficients sont loin d'être aussi variables que ceux de la formule binôme en usage.

Il s'agit de déterminer les valeurs de α et de β pour les natures de paroi qui se rencontrent le plus fréquemment dans la pratique; mais, avant de procéder à cette recherche, il est nécessaire de discuter préalablement les expériences qui ont servi à établir les formules de Prony et d'Eytelwein.

Discussion des expériences qui servent de base aux formules de Prony et d'Eytelwein.

36. M. de Prony s'est servi de 30 expériences de Dubuat, auxquelles il a joint une expérience de Chézy sur la rigole de Courpalet[1].

Eytelwein a employé 91 expériences, savoir : 36 de Dubuat, comprenant celles qu'avait employées M. de Prony, et 6 autres dont cet hydraulicien n'avait pas cru prudent de se servir; et 55 expériences des hydrauliciens allemands Brünings, Funk et Woltmann. Ces 91 expériences sont rapportées dans le Recueil des cinq tables de M. de Prony, qui contient en même temps 8 expériences faites en Italie[2].

Telles sont, à peu près, les seules données expérimentales dont la science dispose jusqu'à présent; si elles étaient assez variées, si elles méritaient toutes un égal degré de confiance, ce nombre serait certainement bien suffisant pour en déduire des formules pratiques. Mais il n'en est nullement ainsi, et nous allons voir qu'en les examinant de plus près, pour éliminer celles qui font double emploi ou présentent quelque cause d'incertitude, elles se réduisent à un très-petit nombre.

[1] *Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes.* 1804; p. 79 et suivantes.

[2] *Recueil de cinq tables pour faciliter et abréger les calculs des formules relatives au mouvement des eaux, etc.* 1825; table n° 2.

1° EXPÉRIENCES DE DUBUAT [1].

Elles se décomposent ainsi :

9 expériences sur un petit canal rectangulaire en planches de $0^m,47$ de largeur;
17 ——— sur un canal trapézoïdal en planches de $0^m,16$ de largeur au fond;
6 ——— sur le canal du Jard;
4 ——— sur la rivière de Hayne.

Les 26 expériences de Dubuat sur des canaux en bois ont été exécutées avec la précision qui caractérise cet habile expérimentateur, et, à l'exception d'un petit nombre d'entre elles signalées comme douteuses par Dubuat lui-même, elles sont fort exactes. Mais les expériences sur le canal du Jard et sur la rivière de Hayne présentent une cause d'incertitude fort grave; la vitesse moyenne n'a pu, en effet, être obtenue directement; elle a dû être déduite de la vitesse à la surface, seule observée à l'aide d'une formule empirique; cette formule, déduite elle-même des expériences sur de petits canaux en bois, peut, comme nous le verrons plus loin, conduire à des résultats fort éloignés de la vérité. La même cause d'incertitude affecte l'expérience de Chézy sur la rigole de Courpalet.

Les données dont disposait M. de Prony étaient donc bien insuffisantes; elles ne se rapportaient en réalité qu'au cas particulier d'un petit canal en bois.

[1] Voir, pour ces expériences, les Principes d'hydraulique de Dubuat, partie I, art. 55 et partie II, art. 377 et 404. Elles portent, dans le Recueil des cinq tables de M. de Prony (table n° 2), les numéros suivants :

Expériences sur le canal rectangulaire....	n°s 1, 2, 6, 13, 16, 18, 19, 25 et 33.
——— trapézoïdal.....	n°s 5, 8, 11, 15, 24, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 35, 37, 38, 39, 41 et 42.
——— du Jard.....	n°s 3, 4, 7, 14, 20 et 23.
Expériences sur la rivière de Hayne.....	n°s 17, 22, 40 et 46.

2° EXPÉRIENCES DE BRÜNINGS.

Elles sont au nombre de 16, et ont été exécutées sur les bras du Rhin, de 1790 à 1792. Elles se trouvent reproduites dans plusieurs ouvrages d'hydrauliciens allemands (Wiebeking[1], Woltmann[2], Funk[3]); malheureusement elles renferment une lacune très-regrettable. Entreprises dans le but de déterminer la répartition du volume total du Rhin entre ses principaux bras, elles ne comprenaient pas, à ce qu'il paraît, la mesure de la pente superficielle du cours d'eau, qui était étrangère au but principal des opérations. Les valeurs attribuées aux pentes dans l'ouvrage de Funk, et reproduites par Eytelwein, ont été déterminées postérieurement, soit à l'aide du calcul, de manière à mettre les résultats d'accord avec les formules alors admises, soit encore en se servant d'un nivellement fait en 1797 (voir, à ce sujet, la discussion de Hagen[4]).

Les expériences de Brünings ne doivent donc pas inspirer de confiance, du moins quant aux valeurs de la pente.

3° EXPÉRIENCES DE FUNK.

Funk a fait sur de grands cours d'eau un nombre considérable d'expériences[5] : 35 seulement figurent dans le Recueil des cinq tables. Elles ont été exécutées sur le Weser, de 1803 à 1806 (à l'exception toutefois d'une seule, n° 28). On y retrouve, comme dans les précédentes, quoique à un degré moindre, quelque incertitude sur la valeur des pentes. On remarque, en effet, que

[1] *Allgemeine Wasserbaukunst.* 1798; t. I, p. 344-388.
[2] *Beiträge zur hydraulischen architectur.* t. III, p. 350-361.
[3] *Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst.* 1808; p. 97.
[4] *Handbuch der Wasserbaukunst.* 1844; IIe partie, t. I, p. 302, 304.
[5] Voir, pour ces expériences, l'ouvrage de Funk : *Beiträge zur allgemeinen Wasserbaukunst.* 1808; Ire partie.

Funk a presque partout adopté la même pente pour tout un groupe d'expériences, circonstance qui ne se rencontre pas dans un cours d'eau naturel. Les données primitives paraissent, ainsi que le pense Hagen, avoir été remaniées et coordonnées de manière à rendre uniformes les pentes qui étaient d'abord différentes.

4° EXPÉRIENCES DE WOLTMANN.

Les 4 expériences de Woltmann ont été faites près de Cuxhaven (non loin de l'embouchure de l'Elbe), sur de petits canaux en terre, dont les dimensions étaient comparables à celles des rigoles de Chazilly et Grosbois [1].

5° EXPÉRIENCES D'ITALIE.

Ces expériences, que M. de Prony a placées à la fin de la table, sont au nombre de 8, savoir : 3 de Bidone, sur un petit canal en briques de $0^m,32$ de largeur [2]; 3 de Bonati, sur le Pô, et 2 faites par l'école des ponts et chaussées des États romains, l'une sur le Pô, l'autre sur le Tibre [3]. La valeur à assigner aux pentes, dans ces 5 dernières expériences, n'est pas non plus bien déterminée.

Nouvelles formules.

37. Ce rapide exposé fait voir que, jusqu'à présent, deux cas seulement avaient été étudiés. Dubuat avait opéré sur de petits canaux en bois, et ses expériences ont servi de base à la formule de Prony. Les hydrauliciens allemands ont surtout expérimenté sur les grands cours d'eau. Entre ces deux extrêmes se placent la plupart des cas que l'on rencontre dans la pratique.

Nous allons réunir à ces éléments toutes les expériences rapportées dans les chapitres précédents, et les grouper par nature de

[1] *Beiträge zur Baukunst schiffbarer Kanäle*, 1802, p. 286-287.

[2] *Mémoires de l'Académie de Turin*, 1820; p. 82.

[3] *Ricerche geometriche ed idrometriche fatte nella scuola degl' ingegneri pontifici d'acque e strade, l'anno 1821*, p. 15-17.

paroi. Nous en distinguerons quatre, pour chacune desquelles il s'agit de déterminer une formule spéciale.

1° Parois très-unies (ciment lissé, bois raboté avec soin, etc...);

2° Parois unies (pierre de taille, brique, planche, ciment mélangé de sable, etc.);

3° Parois peu unies, en maçonnerie de moellons;

4° Parois en terre.

La distinction entre les diverses natures de paroi ne peut pas, du reste, être parfaitement tranchée, et l'on sera souvent conduit dans la pratique à considérer des cas intermédiaires.

Les formules que nous allons établir ne se rapportent qu'aux canaux rectangulaires ou trapézoïdaux, les seuls que l'on rencontre habituellement dans les applications. Nous laisserons de côté, quant à présent, les expériences faites sur des canaux demi-circulaires.

1° PAROIS TRÈS-UNIES.

(Ciment lissé, bois raboté avec soin, etc.)

38. La série n° 2 nous a conduit à la formule

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000149 + \frac{0{,}000005}{R}$$

que nous réduirons, en modifiant légèrement ses deux coefficients, à l'expression plus simple

$$(1) \qquad \frac{RI}{U^2} = 0{,}00015\left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$$

Elle représente assez bien l'expérience de M. Baumgarten sur le pont aqueduc de Roquefavour (série n° 1, expérience n° 1). Cette expérience a donné, en effet,

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000174, \qquad R = 0^m{,}4585$$

et la formule (1) donne, en y faisant $R = 0^m{,}4585$, $\frac{RI}{U^2} = 0{,}000160$, valeur peu inférieure. La différence s'expliquerait d'ailleurs par ce seul fait que les parois latérales en briques de la cuvette du pont de Roquefavour opposaient à l'écoulement plus de résistance que le fond revêtu en ciment.

M. Darcy a déduit de ses expériences sur l'aqueduc des fontaines de Dijon, intérieurement revêtu de ciment, une formule un peu différente [1], savoir :

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000250 + \frac{0{,}0000147}{H}$$

H étant la profondeur d'eau; la largeur de l'aqueduc étant de $0^m{,}54$, on a :

$$R = \frac{0{,}54H}{0{,}54 + 2H}$$

d'où

$$\frac{1}{H} = \frac{1}{R} - \frac{1}{0{,}27}$$

Substituant cette valeur de $\frac{1}{H}$, celle de A devient,

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000196\left(1 + \frac{0{,}075}{R}\right)$$

Ces coefficients sont notablement plus élevés que ceux de la formule (1). Cette différence tient aux causes suivantes : l'enduit qui recouvre les parois intérieures de l'aqueduc de Dijon est un peu ondulé et, de plus, recouvert sur certains points d'un léger dépôt calcaire. Il ne peut donc pas être assimilé aux parois très-unies du canal en ciment sur lequel ont été faites les expériences de la série n° 2. On verra plus loin qu'il est tout à fait comparable aux parois en pierre de taille.

2° PAROIS UNIES.

(Pierre de taille, brique, planche, etc.)

39. Les expériences relatives à cette seconde catégorie sont fort nombreuses. Nous avons, en effet :

1° Pour la pierre de taille, la série n° 39 (rigole murée du Tillot), et l'expérience n° 2 de la série n° 1 (pont aqueduc de Crau); ces expériences sont bien représentées par la formule.

$$(2)\quad \frac{RI}{U^2} = 0{,}000195 + \frac{0{,}000015}{R} = 0{,}000195\left(1 + \frac{0{,}077}{R}\right)$$

[1] *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856, p. 371-372.

2° Pour la brique, la série n° 3, qui, ainsi qu'on l'a vu plus haut, conduit à l'expression

$$(3)\quad \frac{RI}{U^2} = 0{,}000208 + \frac{0{,}000014}{R} = 0{,}000208\left(1 + \frac{0{,}067}{R}\right)$$

Ces valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ seraient un peu trop fortes pour une paroi en briques d'une exécution soignée; les briques avec lesquelles le canal avait été construit n'étaient pas de bonne qualité, et présentaient sur bien des points une surface assez raboteuse.

3° Pour la planche, les expériences sont extrêmement nombreuses, à cause de la facilité que présente le bois pour la construction de canaux de petites dimensions. Outre les 26 expériences de Dubuat, nous avons 12 séries complètes rapportées dans les chapitres précédents sous les n°s 6, 7, 8, 9, 10, 11, 18, 19, 20, 21, 22, 23. Chacune d'elles conduirait, comme nous l'avons vu, à une formule spéciale. La série n° 7 nous a donné :

$$(4)\quad \frac{RI}{U^2} = 0{,}000177 + \frac{0{,}000012}{R} = 0{,}000177\left(1 + \frac{0{,}068}{R}\right)$$

Cette formule convient spécialement à la pente de 0,0049; pour les pentes moindres elle fournirait des valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ un peu trop petites [1].

On peut encore rapprocher des parois en pierre de taille ou en brique l'enduit en ciment de l'aqueduc de Dijon, pour lequel M. Darcy a trouvé (voir précédemment) :

$$(5)\quad \frac{RI}{U^2} = 0{,}000196\left(1 + \frac{0{,}075}{R}\right)$$

Les 3 expériences de Bidone, sur un petit canal en briques (n°s 92, 93 et 94 du Recueil des cinq tables), ont malheureusement été exécutées sur une bien petite échelle et renferment certainement quelques erreurs, car la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ ne diminue pas, comme cela devrait être, lorsque R augmente.

[1] Nous avons choisi la série n° 7 parmi toutes les expériences sur des canaux en planches, afin de rendre la formule (4) plus facilement comparable avec les formules (2) et (3), qui ont été déduites d'expériences faites sur des canaux ayant à peu près même pente : du reste, nous avons vu plus haut que, malgré leurs différences apparentes, les formules obtenues pour des pentes différentes sont sensiblement équivalentes dans la pratique.

Les formules (2), (3), (4) et (5) sont bien peu différentes. Les coefficients de la formule (3) sont probablement un peu trop forts, tandis que ceux de la formule (4) seraient souvent trop faibles, surtout si l'on considérait des canaux en planches construits avec moins de soin qu'on ne le fait pour les canaux destinés à des expériences. On peut, sans inconvénient, adopter dans la pratique une formule unique à coefficients moyens, savoir :

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}00019\left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right) \tag{6}$$

3° PAROIS PEU UNIES EN MAÇONNERIE DE MOELLONS.

40. Nous disposons, pour les parois en maçonnerie de moellons, de cinq séries d'expériences, savoir :

1° Les séries n°s 32 et 33 (rigole de décharge du réservoir de Grosbois);

2° Les séries n°s 44, 45 et 46 (rigole de Grosbois).

Il faut y joindre les 4 expériences de M. Baumgarten sur le canal de Marseille (voir série n° 1, expériences n°s 3, 4, 5 et 6).

Les rigoles en maçonnerie sur lesquelles ont été exécutées les séries n°s 44 et 46 avaient le fond recouvert, en certains points, de vase et de pierrailles, ce qui augmente la valeur de $\frac{RI}{U^2}$, surtout pour les plus faibles débits. Laissons donc ces deux séries de côté, et considérons seulement les séries n°s 32, 33 et 45, qui présentent plus de garanties d'exactitude, les pentes et la nature de la paroi étant parfaitement déterminées. Si l'on combine les 11 expériences de ces 3 séries (en excluant l'expérience n° 1 de la série n° 45, qui paraît donner une valeur de $\frac{RI}{U^2}$ fort exagérée), on est conduit à la formule

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000234 + \frac{0{,}000053}{R}$$

ou bien

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000234\left(1 + \frac{0{,}23}{R}\right)$$

Cette formule, appliquée aux expériences du canal de Marseille, fournit des valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ inférieures à la réalité. D'un autre côté, on rencontre souvent, dans les applications, des canaux en maçonnerie d'une construction moins soignée que ceux sur lesquels nous avons opéré. Il conviendrait peut-être d'augmenter un peu, pour ce motif, les coefficients de la formule précédente; nous adopterons donc l'expression

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}00024\left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right) \tag{7}$$

4° PAROIS EN TERRE.

41. Jusqu'à présent, la détermination des coefficients n'a présenté que peu d'incertitude; la nature des parois était assez bien définie, quoique les parois en maçonnerie présentent déjà quelques différences très-appréciables. Mais ces différences deviennent encore plus grandes si l'on considère les canaux en terre, dans lesquels l'instabilité de la paroi, la végétation, les dépôts, font incessamment varier la résistance à l'écoulement. Les expériences dont nous pouvons disposer se partagent en deux catégories :

La première comprendra les expériences sur des canaux et cours d'eau de petites dimensions dans lesquels le rayon moyen ne dépasse pas 1 mètre;

La seconde, celles qui ont été exécutées sur de grands cours d'eau dans lesquels le rayon moyen R s'élève jusqu'à 5 mètres.

1re CATÉGORIE. — EXPÉRIENCES SUR DE PETITS COURS D'EAU.

---

42. Les expériences sur les rigoles de Grosbois et Chazilly forment les séries nos 37, 41, 47, 48, 49 et 50 (en excluant immédiatement les séries nos 36, 38, 40 et 43, pour lesquelles les parois des rigoles étaient recouvertes de pierres ou d'herbes présentant une résistance exceptionnelle à l'écoulement). On a vu,

dans le chapitre précédent, qu'en faisant la moyenne des résultats fournis par ces 6 séries, on a :

$$\text{pour } R = 0^m,305 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,001566$$
$$\text{—— } R = 0^m,406 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,001029$$
$$\text{—— } R = 0^m,476 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,001078$$
$$\text{—— } R = 0^m,525 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,000975$$

Il faut y joindre :

1° L'expérience n° 7 de la série n° 1 (canal de Marseille), qui donne :

$$R = 0^m,875 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,000630$$

2° Les expériences de Dubuat sur le canal du Jard (en en excluant deux, nos 14 et 23 du Recueil des cinq tables, pour lesquelles le fond du canal était garni de roseaux), et les quatre expériences de Woltmann. Dubuat n'a observé que la vitesse à la surface V, il faut en déduire la vitesse moyenne U, si l'on veut connaître la valeur de $\frac{RI}{U^2}$. Nous verrons, dans le chapitre suivant, que l'on a entre V et U la relation

$$V - U = 14\sqrt{RI}$$

qui permet de déduire U de V ou réciproquement. En effectuant le calcul à l'aide des éléments fournis par Dubuat (*Principes d'hydraulique*, partie II, art. 404), on obtient les résultats suivants :

EXPÉRIENCES DE DUBUAT SUR LE CANAL DU JARD.

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	PENTE PAR MÈTRE I	RAYON MOYEN R	VITESSE MAXIMA donnée PAR L'EXPÉRIENCE V	VITESSE moyenne CALCULÉE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
3	0,0000362	0,512	0,197	0,137	0,000988
4	0,0000362	0,592	0,211	0,146	0,001005
7	0,0000458	0,625	0,260	0,185	0,000836
20	0,0000651	0,787	0,426	0,326	0,000482

La moyenne de ces 4 expériences donne :

$$R = 0^{m},629 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,000828$$

résultat qui s'accorde bien avec ce que nous avons obtenu sur les rigoles de Chazilly et de Grosbois.

EXPÉRIENCES DE WOLTMANN.

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	PENTE PAR MÈTRE I	RAYON MOYEN R	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	mèt.	mèt.	
12	0,0002187	0,202	0,320	0,000431
21	0,0002083	0,312	0,430	0,000351
10	0,0000858	0,462	0,281	0,000502
9	0,0000666	0,541	0,281	0,000456

Ces valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ paraissent bien faibles ; elles renferment des anomalies évidentes, car elles augmentent au lieu de diminuer quand le rayon moyen R augmente. Ignorant d'ailleurs dans quelles circonstances se trouvaient les canaux sur lesquels Woltmann a opéré, nous ne pouvons nous servir de ces résultats.

2° CATÉGORIE. — EXPÉRIENCES SUR DE GRANDS COURS D'EAU.

1° EXPÉRIENCES DE DUBUAT SUR LA RIVIÈRE DE HAYNE.

43. La vitesse maxima ayant seule été mesurée comme pour le canal du Jard, nous en déduirons, ainsi que nous l'avons fait plus haut, la vitesse moyenne, et nous aurons ainsi :

EXPÉRIENCES DE DUBUAT SUR LA RIVIÈRE DE HAYNE.

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	PENTE PAR MÈTRE I	RAYON MOYEN R	VITESSE MAXIMA donnée PAR L'EXPÉRIENCE V	VITESSE MOYENNE U	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
17	0,0000303	1,472	0,368	0,275	0,000590
46	0,0001653	1,498	0,950	0,730	0,000465
40	0,0001559	1,749	0,860	0,629	0.000689
22	0,0000279	1,776	0,432	0,333	0,000447

Moyenne des 4 expériences :

$$R = 1^m,624 \quad \frac{RI}{U^2} = 0,000548$$ [1]

2° EXPÉRIENCES DE FUNK SUR LE WESER.

Elles sont résumées dans le tableau suivant, en les rangeant de telle sorte que le rayon moyen R aille en croissant.

EXPÉRIENCES DE FUNK SUR LE WESER.

NUMÉROS du Recueil des cinq tables	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	NUMÉROS du Recueil des cinq tables	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	NUMÉROS du Recueil des cinq tables	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.			mèt.			mèt.	
36	0,685	0,000517	81	2,625	0,000378	70	3,412	0,000375
49	1,371	0,000644	51	2,650	0,000592	88	3,440	0,000386
69	1,596	0,000318	82	2,722	0,000407	89	3,566	0,000373
57	1,625	0,000544	83	2,837	0,000393	73	3,681	0,000360
68	1,872	0,000424	58	2,876	0,000467	75	3,802	0,000367
74	2,033	0,000400	85	2,962	0,000394	77	3,862	0,000348
71	2,060	0,000498	63	3,043	0,000425	91	3,933	0,000371
48	2,201	0,000412	72	3,111	0,000386	64	4,047	0,000386
76	2,262	0,000471	86	3,120	0,000377	90	4,069	0,000386
79	2,315	0,000377	84	3,187	0,000398	78	4,308	0,000357
66	2,462	0,000352	65	3,208	0,000381			
80	2,482	0,000377	87	3,258	0,000371			

[1] D'après les observations de Dubuat (*Principes d'hydraulique*, partie II, art. 406), les valeurs de V et U doivent être trop fortes pour l'expérience n° 46 et trop faibles

Nous laisserons de côté l'expérience n° 36, dans laquelle R est inférieur à un mètre, et les expériences n°s 69 et 51, dont les résultats sont évidemment erronés, et nous grouperons les autres de la manière suivante :

	VALEURS DE	
	R	$A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	
Moyenne des 5 expériences n°s 49, 57, 68, 74 et 71.....	1,792	0,000502
——————— n°s 48, 76, 79, 66 et 80.....	2,344	0,000398
——————— n°s 81, 82, 83, 58 et 85.....	2,804	0,000408
——————— n°s 63, 72, 86, 84 et 65.....	3,134	0,000393
——————— n°s 87, 70, 88, 89 et 73.....	3,471	0,000373
Moyenne des 6 expériences n°s 75, 77, 91, 64, 90 et 78..	4,003	0,000369

3° EXPÉRIENCES DE BRÜNINGS, DE BONATI ET DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES ROMAINE.

Ces expériences, que nous trouvons encore dans le Recueil des cinq tables, renferment des anomalies considérables, qui tiennent sans doute à l'indétermination des pentes, signalée au commencement de ce chapitre, et qui ne permettent pas de les employer avec sécurité.

4° EXPÉRIENCES RÉCENTES EXÉCUTÉES SUR LA SEINE ET LA SAÔNE PAR LE SERVICE DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Depuis quelques années, de belles opérations de jaugeage ont été exécutées en France par les ingénieurs chargés du service des cours d'eau. Nous devons à leur obligeance la communication des 3 séries d'expériences suivantes[1].

pour l'expérience n° 40. En les excluant toutes deux, la moyenne des expériences n°s 17 et 22 donnerait encore des chiffres peu différents :

$$R = 1^m,624 \qquad \frac{RI}{U^2} = 0,000519$$

[1] Voir, pour plus de détail, la note D à la fin de l'ouvrage; cette note contient les éléments de ces expériences, dont l'énumération complète aurait occupé trop de place dans ce chapitre.

EXPÉRIENCES SUR LA SEINE FAITES À PARIS ENTRE LE PONT D'IÉNA ET CELUI DES INVALIDES, EN 1851 ET 1852.

Par M. Villevert, conducteur, sous la direction de M. Poirée, ingénieur des ponts et chaussées.

NUMÉROS des expériences.	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	NUMÉROS des expériences.	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.			mèt.	
1	1,726	0,000539	7	4,419	0,000372
2	2,159	0,000603	8	4,578	0,000339
3	2,569	0,000639	9	4,855	0,000410
4	2,888	0,000383	10	5,135	0,000314
5	3,328	0,000359	11	5,604	0,000283
6	3,714	0,000384			

Les trois premières valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ renferment quelques anomalies, car elles vont en croissant au lieu d'aller en diminuant. En faisant séparément la moyenne des expériences n°s 4, 5, 6 et 7, et celles des expériences n°s 8, 9, 10 et 11, on obtient :

	VALEURS DE	
	R	$A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	
Moyenne des 4 expériences n°s 4, 5, 6 et 7.....	3,587	0,000375
——————— n°s 8, 9, 10 et 11.....	5,043	0,000336

EXPÉRIENCES SUR LA SEINE FAITES À POISSY, TRIEL ET MEULAN, EN 1852 ET 1853.

Par M. Bonnet, conducteur, sous la direction de M. Emmery, ingénieur des ponts et chaussées.

NUMÉROS des expériences.	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	NUMÉROS des expériences.	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.			mèt.	
1	2,164	0,000393	6	4,328	0,000374
2	2,340	0,000410	7	4,835	0,000381
3	3,426	0,000377	8	5,134	0,000385
4	3,788	0,000440	9	5,445	0,000396
5	4,136	0,000396			

	VALEURS DE	
	R	$A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	
Moyenne des 4 expériences n°s 1, 2, 3 et 4.....	2,929	0,000405
——— 5 expériences n°s 5, 6, 7, 8 et 9.....	4,776	0,000386

EXPÉRIENCES SUR LA SAÔNE FAITES À RACONNAY EN 1858 ET 1859,

Sous la direction de M. LÉVEILLÉ, ingénieur en chef des ponts et chaussées [1].

NUMÉROS des expériences.	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	NUMÉROS des expériences.	RAYON MOYEN R	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.			mèt.	
1	1,182	0,001598	6	3,539	0,000418
2	1,454	0,000946	7	3,598	0,000411
3	2,151	0,000950	8	4,044	0,000343
4	2,720	0,000457	9	4,463	0,000342
5	3,314	0,000415	10	4,825	0,000367

Les trois premières valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ paraissent singulièrement élevées. Ces expériences présentent quelque chose d'exceptionnel, en raison de la faiblesse des pentes et des vitesses. La pente a été supposée de $0^m,04$ par kilomètre; la vitesse moyenne n'est, pour l'expérience n° 1, que de $0^m,17$. On comprend combien il est difficile d'apprécier exactement des pentes et des vitesses aussi petites; aussi cette valeur de $0^m,04$ par kilomètre est-elle certainement trop forte pour les premières expériences de la série.

[1] Ces expériences ont été organisées par M. Léveillé, à l'occasion des études entreprises à la suite des inondations de 1856; elles ont été continuées après la perte si regrettable de cet ingénieur distingué. Raconnay est situé à 19 kilomètres en amont de Châlon.

Quoi qu'il en soit, nous les négligerons, et nous aurons, en faisant la moyenne des autres :

	VALEURS DE	
	R	$A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	
Moyenne des 4 expériences n°s 4, 5, 6 et 7	3,293	0,000425
——— 3 expériences n°s 8, 9 et 10	4,444	0,000351

44. Nous venons de passer en revue 87 expériences, que nous avons groupées de manière à former 19 moyennes, savoir :

	VALEURS DE	
	R	$A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	
Moyenne de 5 expériences sur les rigoles de Grosbois et Chazilly	0,305	0,001566
Moyenne de 6 expériences sur les rigoles de Grosbois et Chazilly	0,406	0,001029
Idem	0,476	0,001078
Idem	0,525	0,000975
Moyenne de 4 expériences de Dubuat sur le canal du Jard	0,629	0,000828
Expérience de M. Baumgarten sur le canal de Marseille	0,875	0,000630
Moyenne de 4 expériences de Dubuat sur la rivière de Hayne	1,624	0,000548
Moyenne de 5 expériences de Funk sur le Weser	1,792	0,000502
Idem	2,344	0,000398
Idem	2,804	0,000408
Moyenne de 4 expériences sur la Seine	2,929	0,000405
Moyenne de 5 expériences de Funk sur le Weser	3,134	0,000393
Moyenne de 4 expériences sur la Saône	3,293	0,000425
Moyenne de 5 expériences de Funk sur le Weser	3,471	0,000373
Moyenne de 4 expériences sur la Seine	3,587	0,000375
Moyenne de 6 expériences de Funk sur le Weser	4,003	0,000369
Moyenne de 3 expériences sur la Saône	4,444	0,000351
Moyenne de 5 expériences sur la Seine	4,776	0,000386
Moyenne de 4 expériences sur la Seine	5,043	0,000336

On voit, par ce tableau, que dès que R dépasse 2 mètres, la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ devient presque constante. Pour déduire de ces nom-

breux résultats une formule d'interpolation, on peut opérer de deux manières. On peut combiner directement les 87 expériences dont nous nous sommes servi, ou bien combiner seulement les 19 moyennes du tableau précédent, en considérant chacune d'elles comme une expérience unique, sans avoir égard au nombre de résultats partiels qui ont concouru à la formation de chaque groupe. Des considérations particulières pourraient être invoquées en faveur de chacune des deux méthodes; mais au point de vue pratique la question est sans importance, car elles conduisent à des formules presque identiques, qui ne diffèrent que par le dernier des six chiffres décimaux que nous employons habituellement. Nous adopterons, en simplifiant un peu les nombres, la formule

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}000280 + \frac{0{,}000350}{R},$$

ce qui revient à

$$\frac{RI}{U^2} = 0{,}00028\left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right). \tag{8}$$

Application des formules précédentes aux expériences.

45. Les formules spéciales aux 4 catégories de parois que nous avons adoptées étant obtenues, il s'agit d'examiner avec quelle approximation elles représentent les expériences dont elles ont été déduites. Cette comparaison peut se faire, soit d'une manière graphique (voir la planche XVI), soit par le calcul (voir la table à la fin de l'ouvrage).

On a tracé, sur la planche XVI, les 4 lignes droites correspondantes aux 4 formules d'interpolation; on y a, en outre, figuré par un point (en prenant, comme nous l'avons toujours fait, $\frac{RI}{U^2}$ pour ordonnée et $\frac{1}{R}$ pour abscisse) les expériences suivantes, qui ont servi pour la plupart à la détermination des coefficients.

1re CATÉGORIE. — Expériences sur un canal en ciment (série n° 2) et sur le pont aqueduc de Roquefavour (série n° 1, exp. n° 1).

2e CATÉGORIE. — Expériences sur la rigole murée du Tillot (série n° 39), sur le pont aqueduc de Crau (série n° 1, exp. n° 2), sur un canal en briques (série n° 3), sur deux canaux en planches de pentes différentes (séries nos 7 et 9).

3e CATÉGORIE. — Expériences sur les rigoles de Grosbois (séries nos 32, 33, 44, 45 et 46, en excluant, pour les motifs indiqués plus haut, l'expérience n° 1 de la

série n° 45 et les trois premières expériences de chacune des séries n°s 44 et 46), sur le canal de Marseille (série n° 1, exp. n°s 3, 4, 5 et 6).

4e CATÉGORIE. — Expériences sur les rigoles de Chazilly et Grosbois (séries n°s 37, 41, 47, 48, 49 et 50), sur le canal de Marseille (série n° 1, exp. n° 7), sur le canal du Jard et la rivière de Hayne (exp. de Dubuat), sur le Weser, sur la Seine et la Saône.

Les expériences de la 4e catégorie ne sont pas figurées isolément, parce qu'elles sont trop nombreuses; on s'est borné à indiquer les 19 moyennes du tableau précédent.

On voit facilement, à l'inspection de la planche, que les formules d'interpolation représentent avec une exactitude suffisante les expériences dont elles ont été déduites.

Le tableau placé à la fin de l'ouvrage renferme plus de 500 expériences : ce sont toutes celles qui ont été rapportées dans les chapitres précédents, auxquelles nous avons réuni les 99 expériences du Recueil des cinq tables, et quelques expériences sur l'aqueduc de Dijon. Le tableau donne, en regard des valeurs expérimentales de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$, leurs valeurs calculées à l'aide des formules. Les différences sont généralement assez faibles. Nous aurions pu, dans certains cas, les rendre encore un peu moindres, en calculant, par une méthode analytique, les coefficients des formules, de manière que, la somme de toutes les erreurs absolues étant nulle, on eût en même temps à satisfaire à une condition de minimum : nous aurions pu, par exemple, appliquer la méthode des moindres carrés, souvent employée en pareil cas. Mais il est facile de comprendre que cette manière d'opérer ne serait pas rationnelle : la résistance à l'écoulement variant à l'infini avec la nature des parois, on s'exposerait ainsi à donner dans les calculs une influence prédominante aux natures de parois sur lesquelles on possède le plus de données. Il ne s'agit plus ici, en effet, de satisfaire à une condition de minimum analytique : il faut déterminer des coefficients s'appliquant le mieux possible aux exigences de la pratique, sans tenir compte du nombre plus ou moins grand d'expériences que l'on possède sur chaque cas particulier. La re-

cherche de ces coefficients nécessite donc une sorte d'appréciation qui échappe, jusqu'à un certain point, au calcul.

Les formules que nous avons déterminées dans ce chapitre sont réduites en tables à la fin du volume (voir les tables n°s 1 et 2). Ces tables, dont l'usage est facile à comprendre, donnent, pour chaque nature de paroi, les valeurs de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$ correspondantes à chaque valeur du rayon moyen R.

TROISIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS LES COURANTS.

CHAPITRE PREMIER.

RAPPORT ENTRE LA VITESSE MOYENNE ET LA VITESSE MAXIMA.

1. La relation ordinairement admise entre la vitesse moyenne U et la vitesse maxima V est celle que M. de Prony a obtenue à l'aide des expériences de Dubuat. Formule de M. de Prony.

$$\frac{U}{V} = \frac{V + 2,372}{V + 3,153}$$

Cette formule empirique, qui fournit des valeurs de $\frac{U}{V}$ peu différentes de 0,80, suppose que la nature de la paroi n'a aucune influence sur la valeur de ce rapport. Cette influence est, au contraire très-grande, et, loin d'être à peu près égal à 0,80, ainsi qu'on le suppose ordinairement, $\frac{U}{V}$ varie dans des limites très-étendues.

2. La vitesse maxima a été mesurée, dans le cours des expériences que nous venons de rapporter, par plusieurs procédés différents : Procédés employés pour mesurer la vitesse maxima.

1° A l'aide de flotteurs;

2° A l'aide du tube jaugeur de M. Darcy.

Le parcours des flotteurs était ordinairement de 40 à 50 mètres. Pour déduire de leurs indications la véritable valeur du rapport $\frac{U}{V}$, on a opéré de la manière suivante.

Après avoir obtenu la vitesse maxima V, en divisant l'espace parcouru par le temps, on a calculé la vitesse moyenne U′ dans la portion du courant parcourue par les flotteurs; c'est cette vitesse U′, et non la vitesse moyenne U, inscrite dans les tableaux particuliers à chaque série, qui a servi à calculer $\frac{U}{V}$. Un exemple éclaircira ce que ces indications générales peuvent renfermer d'obscur. Supposons qu'il s'agisse de l'expérience n° 2 de la série n° 22, la vitesse moyenne U, figurant au tableau de la série est $1^m,436$; elle a été calculée en faisant la moyenne de toutes les profondeurs du courant sur une longueur de 56 mètres; mais les flotteurs n'ayant parcouru qu'une longueur de 40 mètres, il faut, si l'on veut déterminer U′, faire pour cette portion du courant un calcul semblable, qui conduit à une valeur un peu différente $U' = 1^m,408$; c'est cette vitesse U′ que l'on divisera par V pour obtenir le rapport $\frac{U}{V}$. Au reste, la différence entre U et U′ est presque toujours très-petite.

3. Afin de contrôler les indications des flotteurs, on a toujours eu soin de mesurer en un ou plusieurs points la vitesse à $0^m,02$ environ au-dessous de la surface à l'aide du tube jaugeur. Les résultats obtenus par ce second procédé présentent quelques irrégularités, qui ne permettent pas de les employer pour la détermination du rapport $\frac{U}{V}$. Ces irrégularités tiennent à ce que, le régime du courant ne pouvant jamais être rigoureusement uniforme sur toute son étendue, la vitesse mesurée en un seul point peut se trouver un peu modifiée par suite de quelques circonstances accidentelles, et différer de la véritable vitesse normale.

Ce second procédé, qui a été appliqué indistinctement à toutes les expériences, ne comporte donc pas une grande précision. Nous n'en tiendrons pas compte ici, parce que nous disposons encore d'une troisième série de valeurs de $\frac{U}{V}$, présentant plus de garanties d'exactitude que les deux précédentes. Ces valeurs se déduisent des expériences faites pour déterminer la distribution des vitesses

entre les différents filets fluides d'un courant. Ces expériences, qui seront rapportées en détail au chapitre III, ont été exécutées de la manière suivante : après avoir choisi le point où le régime du courant paraissait offrir le plus de régularité, on a relevé exactement le profil transversal, et l'on a mesuré, à l'aide du tube jaugeur, les vitesses en un grand nombre de points de la section. La vitesse moyenne U'', dans cette section, est connue avec exactitude, puisqu'on peut la déduire du profil transversal préalablement relevé; en la divisant par la plus grande des vitesses obtenues à l'aide du tube, on a une valeur fort exacte de $\frac{U}{V}$.

On verra plus loin que cette nouvelle valeur peut, dans certains cas, différer notablement de celle que fournissent les flotteurs. Cette différence tient à ce que la plus grande vitesse ne se trouve souvent qu'à une assez grande profondeur au-dessous de la surface. Les flotteurs donnent donc, dans ce cas, une valeur de V trop petite, et, par suite, on obtient pour $\frac{U}{V}$ un nombre trop grand.

4. Nous allons donner maintenant les valeurs de ce rapport pour les cinquante séries d'expériences rapportées dans les chapitres précédents, en rapprochant, dans un même tableau, celles qui présentent entre elles une certaine analogie. Lorsque la vitesse maxima n'a été trouvée, à l'aide du tube jaugeur, qu'au-dessous de la surface, la valeur de $\frac{U}{V}$ correspondante est accompagnée du signe *.

TABLEAU N° 1.

CANAUX RECTANGULAIRES EN MAÇONNERIE, EN CIMENT, EN BRIQUES, ETC.

(Séries n°s 1, 2, 3, 4 et 5.)

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 1. EXPÉRIENCES sur le canal de Marseille.		SÉRIE N° 2. CANAL en ciment.		SÉRIE N° 3. CANAL en briques.		SÉRIE N° 4. CANAL revêtu de petit gravier.		SÉRIE N° 5. CANAL revêtu de gros gravier.	
	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. pl. V.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 55.	Flotteurs.	Tube jaugeur.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 56.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 57.
1	0,890	0,846*	0,796	"	0,756	"	0,714	"	0,692	"
2	"	0,857*	0,821	"	0,767	"	0,722	"	0,694	"
3	0,821	"	0,821	"	0,746	"	0,728	"	0,714	"
4	0,746	"	0,821	"	0,781	"	0,742	"	0,739	"
5	"	"	0,811	"	0,790	"	0,722	"	0,730	"
6	0,802	"	0,831	"	0,768	"	0,740	"	0,732	"
7	"	0,716	0,805	"	0,767	"	0,723	"	0,716	"
8			0,827	"	0,772	"	0,734	"	0,688	"
9			0,818	"	0,758	"	0,739	"	0,710	
10			0,809	"	0,762	"	0,731	"	0,724	"
11			0,823	"	0,753	"	0,736	"	0,731	"
12			0,818	0,814	0,745	"	0,730	0,734	0,736	0,714*

TABLEAU N° 2.

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES DE 2 MÈTRES DE LARGEUR.

(Séries n°s 6, 7, 8, 9, 10 et 11.)

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 6.		SÉRIE N° 7.		SÉRIE N° 8.		SÉRIE N° 9.		SÉRIE N° 10.		SÉRIE N° 11.	
	Flotteurs.	Tube jaugeur.	Flotteurs.	Tube jaugeur.	Flotteurs.	Tube jaugeur.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 58.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 59.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 60.
1	0,790	"	0,731	"	0,849	"	0,769	"	0,805	"	0,847	"
2	0,749	"	0,752	"	0,827	"	0,788	0,824	0,817	0,833	0,847	"
3	0,759	"	0,752	"	0,845	"	0,775	0,825	0,821	0,832	0,811	"
4	0,769	"	0,761	"	0,818	"	0,799	"	0,819	"	0,818	"
5	0,759	"	0,772	"	0,806	"	0,817	0,835	0,820	0,840	0,812	0,843
6	0,796	"	0,773	"	0,795	"	0,827	"	0,838	"	0,834	"
7	0,802	"	0,781	"	0,813	"	0,817	0,805	0,822	0,809	0,834	0,818
8	0,816	"	0,793	"	0,811	"						
9	0,817	"	0,791	"	0,814	"						
10	0,798	"	0,790	"	0,795	"						
11	0,805	"	0,778	"	0,798	"						
12	0,798	"	0,778	"	0,810	"						

TABLEAU N° 3.

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX.

(Séries n°s 12, 13, 14, 15, 16 et 17.)

NUMÉROS des expériences	CANAUX recouverts de liteaux espacés de 0m,01.						CANAUX recouverts de liteaux espacés de 0m,05.					
	SÉRIE N° 12.		SÉRIE N° 13.		SÉRIE N° 14.		SÉRIE N° 15.		SÉRIE N° 16.		SÉRIE N° 17.	
	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 61.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 62.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 63.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 64.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 65.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 66.
1	0,751	»	0,767	»	0,748	»	0,731	»	0,724	»	0,741	»
2	0,762	0,812	0,770	0,815	0,742	»	0,742	»	0,733	0,772	0,742	»
3	0,757	0,787	0,767	0,814	0,762	0,792	0,736	»	0,753	0,757	0,747	»
4	0,765	»	0,762	»	0,765	»	0,736	»	0,720	»	0,760	»
5	0,767	0,766	0,771	0,778	0,760	0,789	0,755	0,726*	0,712	0,707	0,740	0,763
6	0,789	»	0,774	»	0,761	»	0,767	»	0,726	»	0,721	»
7	0,804	0,782*	0,768	0,779	0,756	0,784	0,800	0,756*	0,727	0,730	0,710	0,725

TABLEAU N° 4.

CANAUX EN PLANCHES DE FORMES DIVERSES.

(Séries n°s 18, 19, 20, 21, 22 et 23.)

NUMÉROS des expériences.	CANAUX RECTANGULAIRES.						CANAUX TRAPÉZOÏDAUX.				CANAL TRIANGULAIRE.	
	SÉRIE N° 18.		SÉRIE N° 19.		SÉRIE N° 20.		SÉRIE N° 21.		SÉRIE N° 22.		SÉRIE N° 23.	
	Flotteurs.	Tube jaugeur.	Flotteurs.	Tube jaug. V. séries 67 et 83.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 54.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 68.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 69.	Flotteurs.	Tube jaugeur. V. sér. 70.
1	0,740	»	0,808	»	0,765	»	0,807	»	0,738	»	0,793	»
2	0,755	»	0,781	0,773	0,787	»	0,803	0,831	0,807	0,782	0,805	0,794
3	0,763	»	0,815	»	0,794	0,814	0,834	»	0,820	»	0,855	»
4	0,801	»	0,814	»	0,781	»	0,830	0,847	0,832	0,808	0,853	0,801*
5	0,827	»	0,820	»	0,821	»	0,820	»	0,833	»	0,873	»
6	0,834	»	0,840	0,803	0,835	»	0,840	»	0,828	0,791	0,876	0,796*
7	0,836	»	0,847	»	0,838	»	0,832	»	0,838	»	0,871	»
8	0,838	»	0,837	»	0,836	»	0,833	0,836	0,827	0,803	0,874	0,812*
9	0,853	»	0,852	0,794	0,850	»	0,836	»	0,839	»	0,860	»
10	0,843	»	0,854	»			0,822	»	0,811	0,818	0,855	0,814*
11	0,813	»	0,856	0,824*			0,820	»	0,852	»	0,871	»
12	0,824	»					0,825	0,825*	0,848	0,803*	0,868	0,818*

TABLEAU N° 5.

CANAUX DEMI-CIRCULAIRES.

(Séries n°s 24, 25, 26 et 27.)

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 24. CANAL en ciment.		SÉRIE N° 25. CANAL en ciment mélangé d'un tiers de sable.		SÉRIE N° 26. CANAL en planches.		SÉRIE N° 27. CANAL revêtu de petit gravier.	
	Flotteurs.	Tube jaugeur. Voir série n° 71.	Flotteurs.	Tube jaugeur. Voir série n° 72.	Flotteurs.	Tube jaugeur. Voir série n° 73.	Flotteurs.	Tube jaugeur. Voir série n° 74.
1	0,884	"	0,906	"	0,846	"	0,796	"
2	0,856	0,806	0,884	0,845	0,841	0,813	0,806	"
3	0,851	"	0,890	"	0,868	"	0,825	0,773
4	0,868	0,830	0,898	0,840	0,886	0,812	0,848	"
5	0,854	"	0,889	"	0,841	"	0,842	"
6	0,868	0,845	0,895	0,837	0,868	"	0,863	"
7	0,867	"	0,861	"	0,856	"	0,850	0,815*
8	0,876	0,855	0,870	0,870	0,874	0,821*	0,870	"
9	0,880	"	0,875	"	0,876	"	0,858	0,814*
10	0,886	0,821	0,876	"	0,882	"	0,880	0,815*
11	0,877	0,847	0,861	0,840	0,872	"		
12	0,875	"	0,875	"	0,876	"		
13					0,894	0,835*		

TABLEAU N° 6.

PETITS CANAUX RECTANGULAIRES EN BOIS DE 10 CENTIMÈTRES DE LARGEUR.

(Séries n°s 28, 29, 30 et 31.)

NUMÉROS des expériences.	CANAUX EN BOIS.		CANAUX EN BOIS revêtus de toile.	
	SÉRIE N° 28.	SÉRIE N° 29.	SÉRIE N° 30.	SÉRIE N° 31.
1	"	"	"	"
2	0,742	0,785	"	"
3	0,776	0,803	"	"
4	0,825	0,850	0,737	0,622
5	0,840	0,895	0,802	0,662
6	0,862		0,847	0,678
7	0,874			0,756
8				0,792
9				0,809

TABLEAU N° 7.

EXPÉRIENCES SUR LES RIGOLES DU CANAL DE BOURGOGNE.

(Séries n°s 32, 33, 34 et 35.)

numéros des expériences.	RIGOLE DE DÉCHARGE du réservoir de Grosbois.		RIGOLE DE DÉCHARGE du bief n° 52.	
	série n° 32.	série n° 33.	série n° 34.	série n° 35.
1	0,687	0,786	0,655	0,677
2	0,691	0,765	0,610	0,713
3	0,727	0,763	0,656	0,723
4	0,696	0,747	0,692	0,762
5			0,721	0,767

TABLEAU N° 8.

EXPÉRIENCES SUR LES RIGOLES DU CANAL DE BOURGOGNE.

(Séries n°s 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 48 et 49.)

NOTA. Les vitesses à la surface n'ont pas été observées pour les séries n°s 43, 45, 46, 47 et 50.

numéros des expériences.	RIGOLE DE CHAZILLY.									RIGOLE DE GROSBOIS.			
	série n° 36.	série n° 37.	série n° 38.	série n° 39.		série n° 40.	série n° 41.	série n° 42.		série n° 44.		série n° 48.	série n° 49.
				Flotteurs.	Tube jaug. V. sér. 75.			Flotteurs.	Moulinet. V. sér. 76.	Flotteurs.	Moulinet. V. sér. 77.		
1	0,486	0,660	0,589	0,788	0,824	0,505	0,610	0,652	0,652	0,803	0,749*	0,517	0,647
2	0,515	0,623	0,657	0,808	0,798	0,524	0,629	0,676	0,673*	0,814	0,805*	0,680	0,754
3	0,541	0,604	0,589	0,811	0,801	0,537	0,605	0,708	0,664*	0,793	0,784*	0,642	0,731
4	0,566	0,615	0,608	0,838	0,818	0,551	0,618	0,718	0,679*	0,934	0,861*	0,690	0,759

5. En parcourant ces tableaux, on est immédiatement frappé de la grande diversité des valeurs de $\frac{U}{V}$. Si l'on range, en effet, les différentes séries de telle sorte que la résistance à la paroi aille en croissant, on voit que $\frac{U}{V}$ s'élève jusqu'à 0,85 pour les parois très-lisses (ciment, pierre de taille, etc.), et diminue graduelle-

ment à mesure que la résistance à la paroi augmente; dans les canaux en terre il s'abaisse jusqu'à 0,50. Les valeurs 0,75 et 0,80, que l'on admet ordinairement, peuvent donc, dans bien des cas, être fort loin de la vérité.

Avant de procéder à une discussion plus détaillée de ces résultats, il est nécessaire d'examiner les différences qui se produisent entre les valeurs de $\frac{U}{V}$ fournies par les flotteurs, et celles qui ont été obtenues à l'aide du tube jaugeur. Dans toutes les expériences désignées par le signe *, ces dernières sont notablement plus faibles, ce qui doit être, puisque nous avons désigné ainsi les expériences où la vitesse maxima ne se rencontrait qu'à une profondeur notable au-dessous de la surface. La différence est surtout marquée pour les séries nos 22 à 27, où elle s'élève jusqu'à 0,07. Si l'on examine les planches XIX à XXIII, qui représentent les expériences sur la distribution des vitesses (voir plus loin, chap. III), on reconnaît que la vitesse maxima se trouve d'autant plus loin de la surface que la profondeur du courant est plus grande par rapport à sa largeur. Ainsi, tandis que dans un courant large et peu profond elle se trouve à la surface (ou du moins peu au-dessous), dans un canal où la profondeur est peu différente de la largeur on la rencontre seulement vers le centre de figure de la section, c'est-à-dire au milieu de la profondeur totale. Les flotteurs doivent donc, dans ce cas, donner des indications très-inexactes, et le rapport $\frac{U}{V}$ que l'on en déduit doit aller en croissant rapidement avec la hauteur de l'eau. C'est ce qui est arrivé pour les petits canaux des séries nos 28, 29, 30 et 31, où l'on voit ce rapport atteindre des valeurs évidemment inadmissibles.

Les valeurs correspondantes aux premières expériences de quelques séries (séries nos 8, 11, 17, 24, 25) présentent des anomalies dont il est facile de comprendre la cause. Ces expériences sont celles dans lesquelles la profondeur du courant était très-faible. La vitesse variant très-rapidement pour une petite différence de profondeur, les indications des flotteurs et celle du tube jaugeur

présentent également quelque incertitude : si l'on emploie le tube, il est difficile de rencontrer précisément la plus grande vitesse, une erreur de quelques millimètres sur la position des ajutages de l'instrument ayant, dans ce cas, une certaine importance. Si l'on emploie un flotteur un peu trop épais, qui plonge dans des couches animées d'une vitesse trop faible, on est conduit de même à une valeur exagérée du rapport $\frac{U}{V}$.

6. Ce rapport va en diminuant à mesure que la résistance à la paroi augmente; il s'agit maintenant de déterminer la loi suivant laquelle s'opère cette diminution. Lorsque A tend vers zéro, $\frac{U}{V}$ tend évidemment vers l'unité, car toutes les vitesses deviendraient égales si la résistance de la paroi n'existait pas. Nous poserons donc $\frac{V}{U} = 1 + f(A)$; $f(A)$ devenant nul avec A. On peut représenter les expériences précédentes en donnant à cette fonction la forme très-simple : $f(A) = K\sqrt{A}$, K étant une constante. Formule nouvelle.

Nous disposons, pour la détermination de K, d'un très-grand nombre de données numériques; mais elles sont loin de mériter toutes le même degré de confiance, et beaucoup d'entre elles font double emploi. Les tableaux n°s 2 et 4 renferment, en effet, douze séries d'expériences faites sur des canaux en planches, dont les résultats sont très-peu différents. Nous ne conserverons de ces douze séries que les séries n°s 9, 10 et 11 qui ont été exécutées avec beaucoup de soin, et nous négligerons en outre :

1° Les expériences n°s 3, 4 et 6 de la série n° 1; leurs résultats sont assez divergents, et les indications des flotteurs n'ont pas été contrôlées par celles du tube jaugeur;

2° La série n° 3 tout entière; elle présente des anomalies évidentes, non-seulement dans les valeurs de $\frac{U}{V}$, mais encore dans celles de A;

3° Les séries n°s 28, 29, 30 et 31; les valeurs de $\frac{U}{V}$ sont évidemment trop fortes, et n'ont pas été vérifiées à l'aide du tube jaugeur;

4° La série n° 32 (expériences sur la rigole de décharge du réservoir de Grosbois, pente de 0,101); les vitesses à la surface étaient extrêmement grandes; elles ont dépassé 9 mètres par seconde, et n'ont pu être observées qu'à l'aide de flotteurs très-volumineux, dont les indications présentent nécessairement quelque incertitude.

Après cette première élimination, nous déterminerons ainsi qu'il suit les valeurs de $\frac{U}{V}$, qui doivent servir à calculer le coefficient K.

On divisera chaque série en deux groupes comprenant à peu près le même nombre d'expériences, et pour chaque groupe on formera la moyenne des valeurs de $\frac{U}{V}$ et celle des valeurs de A correspondantes.

Les valeurs de $\frac{U}{V}$, accusées par les flotteurs pour les séries n°s 24, 25, 26 et 27, étant trop fortes, on n'admettra que celles qui se trouvent contrôlées par les indications du tube jaugeur.

Lorsque l'on disposera, pour une même expérience, de deux valeurs de $\frac{U}{V}$, fournies l'une par les flotteurs, l'autre par le tube jaugeur, on ne tiendra compte que de la plus petite.

7. Chaque série fournit ainsi deux couples de valeurs de A et de $\frac{U}{V}$, et, par suite, deux valeurs de K. On a, en effet:

$$K = \frac{\frac{V}{U} - 1}{\sqrt{A}}.$$

Si l'on range tous ces résultats de telle sorte que A aille en croissant d'une manière continue, on obtient le tableau suivant.

DÉSIGNATION DES SÉRIES.	$\frac{U}{V}$	A	K
Série n° 24. — Moyenne des expériences n°s 8, 10, 11.	0,841	0,000142	15,9
Série n° 24. — *Idem* n°s 2, 4, 6	0,827	0,000163	16,4
Série n° 25. — *Idem* n°s 8, 11	0,855	0,000167	13,1
Série n° 1. — Expérience n° 1	0,846	0,000174	13,8
Série n° 2. — Moy. des exp. n°s 7, 8, 9, 10, 11, 12.	0,816	0,000175	17,0
Série n° 26. — *Idem* n°s 8, 13	0,828	0,000192	15,0
Série n° 25. — *Idem* n°s 2, 4, 6	0,841	0,000196	13,5
Série n° 2. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6	0,817	0,000202	15,8
Série n° 1. — Expérience n° 2	0,857	0,000211	11,5
Série n° 10. — Moyenne des expériences n°s 5, 6, 7	0,822	0,000231	14,2
Série n° 11. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,821	0,000232	14,3
Série n° 9. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,816	0,000235	14,7
Série n° 26. — *Idem* n° 2, 4	0,812	0,000235	15,1
Série n° 39. — *Idem* n°s 3, 4	0,810	0,000268	14,3
Série n° 11. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,831	0,000279	12,2
Série n° 39. — *Idem* n°s 1, 2	0,793	0,000298	15,1
Série n° 10. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,815	0,000300	13,1
Série n° 9. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,783	0,000336	15,1
Série n° 12. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,779	0,000343	15,3
Série n° 13. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,771	0,000375	15,3
Série n° 14. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,759	0,000407	15,7
Série n° 44. — *Idem* n°s 3, 4	0,822	0,000409	10,7
Série n° 12. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,759	0,000443	15,1
Série n° 27. — *Idem* n°s 7, 9, 10	0,815	0,000447	10,7
Série n° 33. — *Idem* n°s 3, 4	0,755	0,000474	14,9
Série n° 27. — Expérience n° 3	0,773	0,000489	13,3
Série n° 4. — Moy. des exp. n°s 7, 8, 9, 10, 11, 12	0,732	0,000490	16,5
Série n° 13. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,766	0,000504	13,6
Série n° 14. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,754	0,000534	14,1
Série n° 35. — *Idem* n°s 4, 5	0,765	0,000591	12,6
Série n° 33. — *Idem* 1, 2	0,775	0,000602	11,8
Série n° 1. — Expérience n° 7	0,716	0,000630	15,8
Série n° 4. — Moyenne des exp. n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6.	0,728	0,000632	14,9
Série n° 15. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,750	0,000666	12,9

DÉSIGNATION DES SÉRIES.	$\frac{U}{V}$	A	K
Série n° 44. — Moyenne des expériences n°s 1, 2.....	0,777	0,000700	10,8
Série n° 5. — *Idem* n°s 7, 8, 9, 10, 11, 12.....	0,714	0,000705	15,1
Série n° 49. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,745	0,000716	12,8
Série n° 16. — *Idem* n°s 5, 6, 7.....	0,720	0,000795	13,8
Série n° 49 — *Idem* n°s 1, 2.....	0,700	0,000836	14,8
Série n° 35. — *Idem* n°s 1, 2, 3.....	0,704	0,000847	14,4
Série n° 17. — *Idem* n°s 5, 6, 7....	0,724	0,000864	13,0
Série n° 15. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,736	0,000896	12,0
Série n° 42. — *Idem* n°s 3, 4..	0,672	0,000908	16,2
Série n° 5. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6.....	0,717	0 001007	12,4
Série n° 48. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,666	0,001015	15,7
Série n° 34. — *Idem* n°s 4, 5.....	0,707	0,001057	12,7
Série n° 16. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,732	0,001092	11,1
Série n° 41. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,612	0,001140	18,8
Série n° 37. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,610	0,001142	18,9
Série n° 17. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,748	0,001160	9 9
Série n° 38. — *Idem* n°s 3, 4.....	0.598	0,001358	18,2
Série n° 42. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,663	0,001371	13,7
Série n° 37. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,642	0,001392	14,9
Série n° 36. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,554	0,001457	21,1
Série n° 41. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,620	0,001458	16,1
Série n° 48. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,599	0,001513	17,2
Série n° 38. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,623	0.001593	15,2
Série n° 34. — *Idem* n°s 1, 2, 3.....	0,640	0,001727	13,5
Série n° 40. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,544	0,001864	19,4
Série n° 36. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,476	0,002420	22,4
Série n° 40. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,515	0,002503	18,8

8. Les valeurs de K présentent des différences assez notables; une erreur peu importante sur V suffit, en effet, pour faire varier ce coefficient dans des limites assez éloignées.

Afin de reconnaître s'il tend à varier avec A, nous grouperons ces valeurs de la manière suivante.

VALEURS DE A.	VALEUR MOYENNE de K.	OBSERVATIONS.
Au-dessous de 0,000200.....	14,9	Moyenne de 7 valeurs.
De 0,000200 à 0,000400.....	14,3	——— 13 valeurs.
De 0,000400 à 0,000600.....	13,7	——— 10 valeurs.
De 0,000600 à 0,000800.....	13,5	——— 8 valeurs.
De 0,000800 à 0,001000.....	14,1	——— 5 valeurs.
De 0,001000 à 0,001500.....	15,3	——— 12 valeurs.
Au-dessus de 0,001500.....	17,7	——— 6 valeurs.

K paraît donc ne pas varier avec A tant que ce dernier coefficient ne dépasse pas 0,001000; ce qui comprend la plupart des cas qui se présentent dans la pratique. Sa valeur moyenne serait au-dessous de cette limite K = 14,1. Au-dessus, il paraît augmenter un peu; mais il faut remarquer que les expériences dans lesquelles A a dépassé 0,001000, comportaient beaucoup moins de précision que les autres.

Quoi qu'il en soit, une erreur de quelques dixièmes d'unité sur K n'ayant pas une grande influence sur $\frac{U}{V}$, nous conserverons à K la valeur 14,1 ou même, plus simplement, 14, et nous écrirons :

$$(1) \qquad \frac{V}{U} = 1 + 14\sqrt{A}$$

en remplaçant A par $\frac{RI}{U^2}$, cette équation peut encore s'écrire sous la forme très-simple :

$$(2) \qquad V - U = 14\sqrt{RI}.$$

Si l'on fait successivement A = 0,000150, 0,000200, etc, la formule (1) donne pour $\frac{U}{V}$:

A	$\frac{U}{V}$	A	$\frac{U}{V}$	A	$\frac{U}{V}$	A	$\frac{U}{V}$
0,000150	0,854	0,000400	0,781	0,000800	0,716	0,001600	0,641
0,000200	0,835	0,000450	0,771	0,000900	0,704	0,001800	0,627
0,000250	0,819	0,000500	0,762	0,001000	0,693	0,002000	0,615
0,000300	0,805	0,000600	0,745	0,001200	0,673	0,002500	0,588
0,000350	0,792	0,000700	0,730	0,001400	0,656	0,003000	0,566

Application de la formule nouvelle aux expériences.

9. Il n'est pas possible de comparer immédiatement ces chiffres avec ceux que donnerait la formule de Prony,

$$\frac{U}{V} = \frac{V + 2,37}{V + 3,15}$$

puisque les deux expressions ne dépendent pas de la même variable. Cette dernière formule conduit, comme l'on sait, à des valeurs de $\frac{U}{V}$ croissantes avec V, mais ordinairement peu différentes de 0,80.

Pour V = 0,50 on a $\frac{U}{V}$ = 0,786
——— = 1,00 ——— = 0,812
——— = 1,50 ——— = 0,832
——— = 2,00 ——— = 0,848

Elle s'appliquerait donc assez bien aux canaux à parois unies; mais elle conduirait, dans beaucoup de cas, à des résultats complétement en désaccord avec la pratique. Afin de donner une idée de ces différences et de faire apprécier, en même temps, le degré d'approximation de la formule (1), nous réunirons dans le tableau suivant,

1° Les valeurs expérimentales de $\frac{U}{V}$;

2° Les valeurs de ce rapport calculées à l'aide de la formule (1) en y substituant les valeurs moyennes de A, tirées du tableau page 155;

3° Les valeurs calculées à l'aide de la formule de Prony : cette dernière dépend de la vitesse maxima V, qui n'a pas été donnée explicitement; mais on peut l'obtenir indirectement en formant à l'aide des tableaux de chaque série la valeur moyenne de U et la divisant par la valeur de $\frac{U}{V}$, tirée du tableau page 155.

DÉSIGNATION DES SÉRIES.	VALEURS DE $\frac{U}{V}$.			DIFFÉRENCES entre les valeurs de $\frac{U}{V}$ obtenues par l'observation et par le calcul	
	D'après l'expérience.	D'après la nouvelle formule.	D'après la formule de Prony.	Formule nouvelle.	Formule de Prony.
Série n° 24. — Moy^ne des exp. n°s 8, 10, 11.	0,841	0,857	0,852	— 0,016	— 0,011
Série n° 24. — *Idem* n°s 2, 4, 6.....	0,827	0,848	0,838	— 0,021	— 0,011
Série n° 25. — *Idem* n°s 8 et 11.....	0,855	0,847	0,846	+ 0,008	+ 0,009
Série n° 1. — Expérience n° 1.....	0,846	0,844	0,886	+ 0,002	— 0,040
Série n° 2. Moy. des exp. n°s 7, 8, 9, 10, 11, 12.	0,816	0,844	0,869	— 0,028	— 0,053
Série n° 26. — *Idem* n°s 8, 13.....	0,828	0,837	0,846	— 0,009	— 0,018
Série n° 25. — *Idem* n°s 2, 4, 6.....	0,841	0,836	0,833	+ 0,005	+ 0,008
Série n° 2. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6...	0,817	0,834	0,846	— 0,017	— 0,029
Série n° 1. — Expérience n° 2.....	0,857	0,831	0,848	+ 0,026	+ 0,009
Série n° 10. — Moy. des exp. n°s 5, 6, 7..	0,822	0,825	0,866	— 0,003	— 0,044
Série n° 11. — *Idem* n°s 5, 6, 7..... ..	0,821	0,824	0,874	— 0,003	— 0,053
Série n° 9. — *Idem* n°s 5, 6, 7.....	0,816	0,823	0,837	— 0,007	— 0,021
Série n° 26. — *Idem* n°s 2, 4....	0,812	0,823	0,827	— 0,011	— 0,015
Série n° 39. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,810	0,814	0,877	— 0,004	— 0,067
Série n° 11. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,831	0,811	0,846	+ 0,020	— 0,015
Série n° 39. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,793	0,805	0,863	— 0,012	— 0,070
Série n° 10. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,815	0,805	0,840	+ 0,010	— 0,025
Série n° 9. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,783	0,796	0,815	— 0,013	— 0,032
Série n° 12. — *Idem* n°s 5, 6, 7.....	0,779	0,794	0,834	— 0,015	— 0,055
Série n° 13. — *Idem* n°s 5, 6, 7.....	0,771	0,787	0,860	— 0,016	— 0,089
Série n° 14. — *Idem* n°s 5, 6, 7.....	0,759	0,780	0,868	— 0,021	— 0,109
Série n° 44. — *Idem* n°s 3, 4.	0,822	0,779	0,800	+ 0,043	+ 0,022
Série n° 12. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,759	0,772	0,812	— 0,013	— 0,053
Série n° 27. — *Idem* n°s 7, 9, 10.....	0,815	0,772	0,827	+ 0,043	— 0,012
Série n° 33. — *Idem* n°s 3, 4.....	0,755	0,766	0,913	— 0,011	— 0,158
Série n° 27. — Expérience n° 3.....	0,773	0,764	0,815	+ 0,009	— 0,042
Série n° 4. Moy. des exp. n°s 7, 8, 9, 10, 11, 12.	0,732	0,763	0,853	— 0,031	— 0,121
Série n° 13. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,766	0,761	0,833	+ 0,005	— 0,067
Série n° 14. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4.....	0,754	0,756	0,841	— 0,002	— 0,087
Série n° 35. — *Idem* n°s 4, 5.....	0,765	0,746	0,895	+ 0,019	— 0,130
Série n° 33. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,775	0,744	0,891	+ 0,031	— 0,116
Série n° 1. — Expérience n° 7.....	0,716	0,740	0,816	— 0,024	— 0,100
Série n° 4. Moy. des exp. n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6.	0,728	0,740	0,832	— 0,012	— 0,104
Série n° 15. — *Idem* n°s 5, 6, 7.....	0,750	0,735	0,821	+ 0,015	— 0,071
Série n° 44. — *Idem* n°s 1, 2.....	0,777	0,730	0,789	+ 0,047	— 0,012

DÉSIGNATION DES SÉRIES.	VALEURS DE $\frac{U}{V}$			DIFFÉRENCE entre les valeurs de $\frac{U}{V}$ obtenues par l'observation et par le calcul.	
	D'après l'expérience.	D'après la nouvelle formule.	D'après la formule de Prony.	Formule nouvelle.	Formule de Prony.
Série n° 5. — *Idem* n°s 7, 8, 9, 10, 11, 12.	0,714	0,729	0,846	— 0,015	— 0,132
Série n° 49. — *Idem* n°s 3, 4	0,745	0,728	0,791	+ 0,017	— 0,046
Série n° 16. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,720	0,717	0,847	+ 0,003	— 0,127
Série n° 49. — *Idem* n°s 1, 2	0,700	0,712	0,785	— 0,012	— 0,085
Série n° 35. — *Idem* n°s 1, 2, 3	0,704	0,710	0,876	— 0,006	— 0,172
Série n° 17. — *Idem* n°s 5, 6, 7	0,724	0,708	0,854	+ 0,016	— 0,130
Série n° 15. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,736	0,705	0,802	+ 0,031	— 0,066
Série n° 42. — *Idem* n°s 3, 4	0,672	0,703	0,800	— 0,031	— 0,128
Série n° 5. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4, 5, 6...	0,717	0,692	0,823	+ 0,025	— 0,106
Série n° 48. — *Idem* n°s 3, 4	0,666	0,691	0,860	— 0,025	— 0,134
Série n° 34. — *Idem* n°s 4, 5	0,707	0,687	0,886	+ 0,020	— 0,179
Série n° 16. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,732	0,684	0,821	+ 0,048	— 0,089
Série n° 41. — *Idem* n°s 3, 4	0,612	0,679	0,798	— 0,067	— 0,186
Série n° 37. — *Idem* n°s 3, 4	0,610	0,679	0,810	— 0,069	— 0,200
Série n° 17. — *Idem* n°s 1, 2, 3, 4	0,748	0,677	0,826	+ 0,071	— 0,078
Série n° 38. — *Idem* n°s 3, 4	0,598	0,660	0,810	— 0,062	— 0,212
Série n° 42. — *Idem* n°s 1, 2	0,663	0,659	0,789	+ 0,004	— 0,126
Série n° 37. — *Idem* n°s 1, 2	0,642	0,657	0,797	— 0,015	— 0,155
Série n° 36. — *Idem* n°s 3, 4	0,554	0,652	0,805	— 0,098	— 0,251
Série n° 41. — *Idem* n°s 1, 2	0,620	0,652	0,789	— 0,032	— 0,169
Série n° 48. — *Idem* n°s 1, 2	0,599	0,647	0,793	— 0,048	— 0,194
Série n° 38. — *Idem* n°s 1, 2	0,623	0,641	0,798	— 0,018	— 0,175
Série n° 34. — *Idem* n°s 1, 2, 3	0,640	0,632	0,867	+ 0,008	— 0,227
Série n° 40. — *Idem* n°s 3, 4	0,544	0,623	0,808	— 0,079	— 0,264
Série n° 36. — *Idem* n°s 1, 2	0,476	0,592	0,797	— 0,116	— 0,321
Série n° 40. — *Idem* n°s 1, 2	0,515	0,588	0,799	— 0,073	— 0,284

L'examen de ce tableau fait voir que la formule de Prony s'accorde assez bien avec l'observation lorsque la résistance à la paroi est peu considérable; il était facile de le prévoir, puisqu'elle a été déduite d'expériences sur des canaux en bois. A mesure que la résistance à la paroi augmente, l'écart entre cette formule et l'ex-

périence s'accroît également, et les erreurs deviennent énormes pour les dernières valeurs du tableau.

Si l'on fait la moyenne des différences inscrites dans les deux dernières colonnes : 1° pour les quarante-trois premières valeurs de $\frac{U}{V}$, auxquelles correspondent des valeurs de A inférieures à 0,001000; 2° pour les dix-huit dernières, auxquelles correspondent, au contraire, des valeurs de A plus grandes que 0,001000, on a :

	FORMULE NOUVELLE.	FORMULE DE PRONY.
Moyenne des différences pour les quarante-trois premières valeurs (ce sont celles qui ont servi à déterminer le coefficient K.)....	0,000	— 0,062
Moyenne des différences pour les dix-huit dernières valeurs....	— 0,029	— 0,186

L'erreur que l'on commet en appliquant la nouvelle formule aux expériences où A dépasse 0,001000 n'atteint pas 0,03 en moyenne, bien que nous n'ayons pas cru devoir employer ces expériences pour la détermination du coefficient K. Quant à la formule de Prony, elle donne presque constamment des valeurs trop fortes; l'erreur moyenne — 0,186 pour les dix-huit dernières expériences est très-grande, puisqu'elle atteint le tiers de la valeur véritable de $\frac{U}{V}$.

On trouvera, à la fin du volume, la formule (1) réduite en table (voir la table n° 3, qui donne pour chaque valeur de A la valeur correspondante de $\frac{U}{V}$). Une autre table (n° 4) fait, en outre, connaître, pour les quatre catégories de parois définies à la fin de la seconde partie, les valeurs de $\frac{U}{V}$ correspondantes à chaque valeur du rayon moyen R.

CHAPITRE II.

RECHERCHES SUR LA RÉSISTANCE DE L'AIR À LA SURFACE D'UN COURANT.

But des expériences faites en 1857 et 1859 dans un tuyau rectangulaire.

10. La répartition des vitesses dans un canal à ciel ouvert présente, surtout lorsque ces vitesses sont faibles, des anomalies notables, qui ne permettent pas toujours d'apercevoir facilement les lois suivant lesquelles elles varient. Ces perturbations sont principalement sensibles aux environs de la surface, où la vitesse est ordinairement moindre qu'à une certaine profondeur au-dessous. Lorsque l'on opère, au contraire, sur des tuyaux fermés, dans lesquels l'écoulement a lieu sous une certaine charge, ces perturbations disparaissent complétement, comme l'a constaté M. Darcy dans ses expériences sur les tuyaux de conduite. Frappé de cette différence, M. Darcy voulut, en 1857, étudier la répartition des vitesses dans un tuyau rectangulaire coulant à pleine section. On donna à ce tuyau $0^m,80$ de largeur sur $0^m,50$ de hauteur; après y avoir fait couler divers volumes d'eau, on enleva la face supérieure, de manière à le transformer en un canal à ciel ouvert. On étudia dans les deux cas, à l'aide du tube jaugeur, la manière dont se distribuaient les vitesses dans toute la section du courant.

En 1859 nous renouvelâmes ces expériences sur un tuyau rectangulaire de dimensions plus petites, qui n'avait plus que $0^m,48$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur. Les résultats de cette deuxième série d'expériences sont tout à fait analogues à ceux de la première série; nous ferons remarquer en passant que les canaux rectangulaires de $0^m,80$ et $0^m,48$ de largeur, que l'on a obtenus

en enlevant la paroi supérieure des deux tuyaux, sont ceux qui ont servi ensuite aux expériences des séries n°s 19 et 20.

En opérant ainsi successivement sur un tuyau et sur un canal découvert de même section, il était permis d'espérer que le rapprochement des résultats obtenus dans les deux cas conduirait à une appréciation exacte de l'influence exercée par la résistance de l'air sur les tranches supérieures d'un courant. Ces prévisions ne se sont pas complétement réalisées; néanmoins ce rapprochement a conduit à des résultats fort intéressants, il a démontré que la résistance de l'air est inappréciable par un temps calme, ainsi qu'il était du reste facile de le prévoir; mais qu'en l'absence de toute résistance de ce genre les vitesses se distribuent aux environs de la surface du courant suivant une tout autre loi que dans les couches plus profondes. L'étude des vitesses dans un tuyau fermé ne suffit donc plus pour se rendre compte de ce qui se passe dans un canal à ciel ouvert; il s'opère à la surface libre d'un courant des modifications profondes, ou, si l'on veut, une sorte de désordre, qui vient compliquer une étude déjà si épineuse par elle-même.

Dispositions adoptées pour les expériences de 1857.

11. Le tuyau rectangulaire en bois établi en 1857 avait, comme nous l'avons dit, $0^m,80$ de largeur sur $0^m,50$ de hauteur; il était formé de planches de peuplier clouées longitudinalement sur des cadres en bois. Ces cadres, qui avaient $0^m,08$ à $0^m,10$ d'équarrissage, étaient espacés d'un mètre et reposaient sur le fond de la rigole (voir pl. XVII, fig. 1 et 6). Les joints avaient été calfatés afin d'empêcher toute perte d'eau, et, pour surcroît de précaution, on a eu soin, lorsque le tuyau a été mis en place, de l'envelopper de toute part de terre pilonnée. L'écoulement devant s'opérer à pleine section et sous une certaine charge, il était nécessaire que les deux extrémités du tuyau fussent complétement noyées; cette condition était facilement remplie à l'aide d'un barrage placé à 20 mètres au-dessous de l'extrémité aval. En faisant varier la hauteur de ce barrage on modifiait à volonté le niveau de l'eau, non-seulement en aval mais en amont du tuyau.

La charge était indiquée par cinq manomètres ainsi répartis sur la longueur totale :

	mèt.
Distance de l'extrémité amont du tuyau au 1er manomètre.....	5,46
Distance du 1er manomètre au 2e.....	13,89
Distance du 2e au 3e, qui était placé au milieu de la longeur totale	15,80
Distance du 3e au 4e.....	15,80
Distance du 4e au 5e.....	13,89
Distance du 5e à l'extrémité aval du tuyau.....	5,46

La construction de ces manomètres était extrêmement simple; ils se composaient d'un tube vertical en zinc, de $0^m,03$ de diamètre, auquel était accolé un tube indicateur en verre muni d'une échelle graduée permettant d'apprécier exactement le niveau de l'eau (voir pl. XVII, fig. 3 et 4). Un orifice d'un millimètre seulement de diamètre établissait la communication entre le manomètre et l'intérieur du tuyau. Cet orifice, placé à la hauteur de l'axe du tuyau, c'est-à-dire à $0^m,25$ de la paroi inférieure, était percé dans une plaque en cuivre soudée au manomètre et affleurant exactement la paroi. A l'aide de ces dispositions on pouvait obtenir sans peine la charge à chacun des manomètres. La section de l'orifice de communication n'étant qu'un millième environ de celle du tube indicateur, les oscillations étaient complétement insensibles, et le niveau de l'eau pouvait être observé avec une grande précision.

Avant d'adopter la disposition qui vient d'être décrite, on avait d'abord essayé de réunir les tubes indicateurs en verre des cinq manomètres, en les accolant sur une même échelle graduée. La charge particulière à chaque manomètre était transmise au tube indicateur correspondant par un tuyau en plomb de petit diamètre. Mais on a dû y renoncer, parce que l'on ne pouvait parvenir, à cause de la faiblesse des charges, à purger d'air les tuyaux en plomb destinés à transmettre les indications des manomètres.

12. Il nous reste maintenant à expliquer comment on a pu se servir du tube jaugeur pour déterminer la répartition des vitesses

dans l'intérieur même du tuyau. Dans ses recherches sur les tuyaux de conduite, M. Darcy n'avait eu besoin de faire mouvoir l'instrument que sur une même verticale, en le faisant passer à travers de petites boîtes à étoupes ménagées dans la paroi. Mais dans le cas qui nous occupe il fallait en outre pouvoir le déplacer horizontalement. On essaya d'abord de pratiquer, dans la paroi supérieure du tuyau, une fente transversale de $0^m,08$ de largeur, permettant d'introduire les ajutages du tube jaugeur (voir pl. XVII, fig. 5). On plaçait cet instrument dans la position voulue, puis l'on reformait la paroi interrompue, en clouant de chaque côté de la tige une planche, de manière à fermer complétement la fente. Le tube pouvait ainsi se mouvoir librement sur une même verticale; mais il était impossible de le déplacer horizontalement sans déclouer les planches destinées à fermer l'ouverture, ce qui présentait quelque embarras. Cette difficulté fut résolue de la manière la plus simple. Supposons qu'on laisse complétement ouverte la fente pratiquée pour le passage de l'instrument, mais que l'on établisse au-dessus une sorte de boîte ou tube vertical en bois, il est clair que l'eau s'élèvera dans cette boîte, comme dans un tube manométrique, jusqu'à une certaine hauteur, mesurant la charge sous laquelle s'opère l'écoulement. Cette charge était toujours assez faible pour qu'il ne fût pas nécessaire de donner à cette boîte plus de $0^m,30$ à $0^m,40$ de hauteur. En la laissant ouverte par la partie supérieure, on pouvait donc introduire le tube jaugeur, et le faire mouvoir librement dans toute l'étendue de la section. Mais il fallait s'assurer avant tout que la solution de continuité créée dans la paroi par la présence d'une fente transversale de $0^m,08$ de largeur n'était pas de nature à troubler l'écoulement. On fit donc quelques expériences comparatives : 1° en laissant la fente ouverte; 2° en la faisant disparaître au moyen de deux planchettes préparées de manière à affleurer exactement la paroi du tuyau. On ne put constater, dans les deux cas, aucune variation appréciable, ni dans les indications du tube jaugeur, ni dans celles des manomètres. La présence de la fente ne modifiant

pas l'écoulement, on la laissa ouverte. L'opération devenait dès lors bien plus facile, puisque l'on pouvait faire mouvoir l'instrument librement, apercevoir ce qui se passait dans l'intérieur du tuyau, et retirer au besoin le tube pour le débarrasser des feuilles ou autres corps étrangers qui s'engageaient quelquefois dans les ajutages. On verra du reste plus loin, en jetant les yeux sur les résultats obtenus, qu'ils n'ont pu être modifiés par la présence de la fente; car la symétrie la plus parfaite a lieu dans la répartition des vitesses, ce qui n'existerait certainement pas si une cause perturbatrice eût agi dans la partie supérieure de la section.

13. Tels sont les procédés qui ont été employés : la vitesse a été mesurée en 45 points de la section; ces points sont répartis symétriquement suivant des lignes horizontales et verticales distribuées de la manière suivante : la section, ainsi qu'on l'a vu plus haut, est un rectangle de $0^m,80$ de base et $0^m,50$ de hauteur. Traçons dans l'intérieur de ce rectangle cinq lignes horizontales, savoir :

La première passant par l'axe;

La deuxième à $0^m,11$ au-dessus et la troisième à $0^m,11$ au-dessous de l'axe;

La quatrième à $0^m,22$ au-dessus et la cinquième à $0^m,22$ au-dessous de l'axe.

(Ces deux dernières sont à $0^m,03$ des parois supérieure et inférieure.)

Traçons-y de même neuf lignes verticales, savoir :

La première passant par l'axe;

Le deuxième et la troisième à $0^m,11$ de part et d'autre de l'axe;

La quatrième et la cinquième à $0^m,22$ *idem.*

La sixième et la septième à $0^m,33$ *idem.*

La huitième et la neuvième à $0^m,37$ de part et d'autre de l'axe, c'est-à-dire à $0^m,03$ des parois.

Les intersections de ces lignes figureront les 45 points où la vitesse a été mesurée.

Résultats des expériences de 1857.

14. On a fait successivement couler dans le tuyau en bois huit volumes d'eau différents : $0^{mc},203$, $0^{mc},307$, $0^{mc},411$, $0^{mc},515$, $0^{mc},618$, $0^{mc},674$, $0^{mc},721$ et $0^{mc},777$. Mais l'on n'a mesuré la vitesse en tous les points de la section que pour les débits de $0^{mc},411$, $0^{mc},618$ et $0^{mc},674$; pour les cinq autres on s'est contenté de mesurer la vitesse maxima, c'est-à-dire celle qui avait lieu dans l'axe même du tuyau. Les résultats de ces expériences sont renfermés dans les deux tableaux suivants. Le premier contient, pour chacun des huit débits expérimentés, la pente ou perte de charge par mètre courant I, la vitesse moyenne et le coefficient $\frac{RI}{U^2}$. La perte de charge a été calculée en ne tenant compte que des manomètres n°s 2 et 4; les manomètres n°s 1 et 5 étaient placés près des extrémités, ce qui pouvait altérer l'exactitude de leurs indications. Le second tableau contient le résumé des observations faites pour déterminer la répartition des vitesses. Il est divisé en 45 cases correspondant aux 45 points dont la position a été définie précédemment. La position de chaque point est désignée par les indications placées au-dessus et à gauche du tableau. Chaque case se trouvant en effet à la rencontre d'une colonne verticale et d'une ligne horizontale, le titre placé en tête de la colonne verticale donne la distance horizontale du point correspondant à l'axe du tuyau, et le titre placé en tête de la ligne horizontale donne, au contraire, la distance verticale de ce point à l'axe. Ces titres ne sont donc que l'indication sommaire des coordonnées de chaque point par rapport à deux axes rectangulaires passant par le centre de figure de la section. Pour présenter les résultats sous une forme plus abrégée et faciliter les comparaisons, on a réuni dans le même tableau les résultats correspondants aux trois expériences. Chaque case contient donc trois chiffres : le premier est relatif au débit de $0^{mc},411$, le deuxième au débit de $0^{mc},618$ et le troisième au débit de $0^{mc},674$. Ces chiffres indiquent d'ailleurs, non pas la valeur absolue V des vitesses, mais leur rapport $\frac{V}{U}$ à la vitesse moyenne.

SÉRIE N°. 51.

(13 et 14 octobre, 12, 17, 18, 19 et 20 novembre 1857.)

Tableau n° 1.

NUMÉROS des expériences.	PERTE DE CHARGE par mètre courant I	DÉBIT PAR SECONDE Q	VITESSE MOYENNE U	VITESSE MAXIMA V	RAPPORT $\frac{U}{V}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	mèt. cub.	mèt.	mèt.		
1	0,000475	0,203	0,508	0,618	0,821	0,000284
2	0,001076	0,307	0,768	0,908	0,845	0,000281
3	0,001899	0,411	1,028	1,213	0,847	0,000277
4	0,002911	0,515	1,288	1,505	0,855	0,000270
5	0,004272	0,618	1,545	1,826	0,846	0,000275
6	0,005063	0,674	1,685	1,961	0,859	0,000274
7	0,005760	0,721	1,803	2,115	0,852	0,000273
8	0,006614	0,777	1,943	2,270	0,856	0,000270

Tableau n° 2.

DISTANCES VERTICALES à l'axe du tuyau.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU TUYAU.								
	0m,37	0m,33	0m,22	0m,11	0	0m,11	0m,22	0m,33	0m,37
	À GAUCHE.					À DROITE.			
0m,22 au-dessus.	0,818	0,829	0,852	0,873	0,884	0,873	0,829	0,829	0,807
	0,795	0,888	0,892	0,892	0,902	0,898	0,892	0,865	0,780
	0,814	0,871	0,895	0,891	0,887	0,895	0,879	0,871	0,814
0m,11 au-dessus.	0,840	0,974	1,108	1,117	1,133	1,125	1,117	0,954	0,840
	0,855	0,968	1,110	1,114	1,114	1,110	1,103	0,950	0,860
	0,847	0,958	1,112	1,106	1,112	1,115	1,108	0,951	0,863
0	0,863	0,993	1,125	1,165	1,181	1,158	1,125	0,954	0,840
	0,892	0,972	1,147	1,168	1,182	1,164	1,140	0,972	0,898
	0,860	0,955	1,115	1,164	1,164	1,161	1,128	0,955	0,868
0m,11 au-dessous	0,818	0,974	1,108	1,133	1,141	1,133	1,125	0,974	0,840
	0,888	0,959	1,099	1,110	1,114	1,099	1,094	0,942	0,855
	0,827	0,944	1,081	1,087	1,097	1,077	1,097	0,940	0,856
0m,22 au-dessous	0,795	0,852	0,863	0,873	0,894	0,873	0,829	0,818	0,795
	0,775	0,874	0,888	0,892	0,902	0,883	0,883	0,855	0,785
	0,797	0,860	0,871	0,875	0,879	0,875	0,871	0,843	0,810

15. Tels sont les procédés employés lors des expériences faites en 1857. On a suivi exactement la même marche pour le second tuyau construit en 1859. Ce tuyau avait seulement $0^m,48$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur (pl. XVII. fig. 2 et 7). Les cinq manomètres étaient placés de la manière suivante : Expériences de 1859.

	mèt.
Distance de l'extrémité amont au premier manomètre	7 22
Distance du premier au deuxième	7 50
Distance du deuxième au troisième, qui était placé au milieu de la longueur totale	7 50
Distance du troisième au quatrième	7 50
Distance du quatrième au cinquième	7 50
Distance du cinquième à l'extrémité aval du tuyau	7 21

La vitesse a été mesurée en 45 points répartis de la même manière qu'on l'avait fait dans la première série d'expériences. Les rectangles formant la section transversale des deux tuyaux étaient géométriquement semblables; chacune des deux dimensions du deuxième était en effet les 3/5 de la dimension correspondante dans le premier. En raison de cette similitude, on a pris pour les 45 points devant servir à la mesure des vitesses dans le deuxième tuyau, les homologues des points qui avaient été choisis pour cette opération dans le premier, c'est-à-dire qu'on les a répartis de la même manière sur deux séries de lignes horizontales et verticales, dont les distances à l'axe étaient $0^m,066$ et $0^m,132$ pour les lignes horizontales; $0^m,066$, $0^m,132$, $0^m,198$ et $0^m,222$ pour les lignes verticales.

16. On a fait couler dans le tuyau huit débits différents, savoir : $0^{mc},054$, $0^{mc},078$, $0^{mc},100$, $0^{mc},129$, $0^{mc},155$, $0^{mc},191$, $0^{mc},203$ et $0^{mc},233$; mais on n'a mesuré la vitesse en tous les points de la section que pour les trois débits de $0^{mc},129$, $0^{mc},191$ et $0^{mc},233$. Pour les cinq autres on s'est borné à noter les indications des manomètres et la vitesse maxima. Les résultats de ces expériences sont consignés dans les deux tableaux suivants, qui sont entièrement semblables à ceux de la série n° 51; chaque case du 2e tableau contient de même trois chiffres: le 1er est relatif au débit de $0^{mc},129$, le 2e au débit de $0^{mc},191$ et le 3e au débit de $0^{mc},233$.

SÉRIE N° 52.

(7, 8, 9, 10, 11 et 14 mars, 20 et 21 avril 1859.)

TABLEAU N° 1.

NUMÉROS des expériences.	PERTE DE CHARGE par mètre courant I	DÉBIT PAR SECONDE Q	VITESSE MOYENNE U	VITESSE MAXIMA V	RAPPORT $\frac{U}{V}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	mèt.	mèt. cub.	mèt.	mèt.		
1	0,000533	0,054	0,375	0,465	0,806	0,000350
2	0,001067	0,078	0,542	0,672	0,806	0,000336
3	0,001733	0,100	0,694	0,886	0,784	0,000332
4	0,002733	0,129	0,896	1,103	0,812	0,000314
5	0,003867	0,155	1,076	1,306	0,824	0,000308
6	0,006267	0,191	1,326	1,634	0,812	0,000329
7	0,007267	0,203	1,410	1,777	0,793	0,000338
8	0,008800	0,233	1,618	1,966	0,823	0,000310

TABLEAU N° 2.

DISTANCES VERTICALES à l'axe du tuyau.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU TUYAU.								
	0m,222	0m,198	0m,132	0m,066	0	0m,066	0m,132	0m,198	0m,222
	À GAUCHE.					À DROITE.			
0m,132 au-dessus.	0,781	0,856	0,951	0,963	0,989	0,989	0,951	0,856	0,781
	0,790	0,851	0,927	0,945	0,945	0,951	0,945	0,878	0,805
	0,798	0,874	0,932	0,944	0,948	0,936	0,932	0,874	0,784
0m,066 au-dessus.	0,781	1,001	1,138	1,138	1,138	1,138	1,138	0,989	0,797
	0,832	0,956	1,133	1,152	1,147	1,152	1,142	0,991	0,871
	0,835	0,936	1,135	1,151	1,155	1,138	1,118	0,936	0,843
0	0,781	0,951	1,148	1,211	1,231	1,211	1,169	0,963	0,797
	0,845	0,973	1,152	1,222	1,232	1,227	1,176	1,024	0,878
	0,821	0,971	1,151	1,209	1,215	1,209	1,155	0,983	0,861
0m,066 au-dessous	0,765	0,937	1,082	1,082	1,094	1,094	1,082	0,937	0,797
	0,832	0,915	1,112	1,117	1,127	1,117	1,117	1,024	0,871
	0,798	0,968	1,112	1,128	1,126	1,131	1,122	0,962	0,821
0m,132 au-dessous	0,625	0,682	0,750	0,750	0,797	0,781	0,781	0,733	0,644
	0,724	0,762	0,811	0,825	0,851	0,858	0,825	0,762	0,739
	0,740	0,788	0,816	0,839	0,852	0,857	0,848	0,788	0,740

17. En examinant les quatre tableaux qui précèdent, on aperçoit sans peine : Discussion des expériences précédentes.

1° Que la valeur de A est à peu près indépendante de la pente ou perte de charge pour chaque tuyau ;

2° Que les rapports des vitesses entre elles et leur répartition dans l'étendue de la section restent également les mêmes pour chaque tuyau.

En effet les trois nombres contenus dans chaque case sont sensiblement les mêmes, à l'exception toutefois de quelques anomalies qui existent dans le tableau n° 2 de la série n° 52. Ces anomalies, qui se remarquent seulement dans les points voisins de la paroi, tiennent à ce que l'extrémité du tube jaugeur ne se trouvant qu'à $0^m,018$ de la paroi dans le voisinage de laquelle les vitesses varient toujours très-rapidement, le plus léger déplacement de l'instrument entraînait une erreur considérable dans l'appréciation des vitesses. Aussi ces anomalies disparaissent-elles si l'on considère les points situés dans l'intérieur de la section.

On remarque de plus, comme l'on pouvait du reste le prévoir, que la vitesse est la même pour les points symétriquement placés par rapport à l'axe du tuyau. Supposons en effet que l'on trace deux axes de coordonnées, l'un horizontal, l'autre vertical, passant par le centre de figure de la section transversale, et que l'on désigne, comme nous l'avons fait plus haut, chaque point par ses distances à ces deux axes, la section se trouve partagée en quatre parties parfaitement semblables; au point qui a pour coordonnées $+X$ et $+Y$, correspondent trois autres points ayant pour coordonnées $+X$, $-Y$; $-X$, $+Y$; $-X$, $-Y$; les vitesses sont égales pour chacun de ces quatre points. Exemple tiré du tableau n° 2 de la série n° 51.

DÉSIGNATION des points symétriques par leurs distances à l'axe.	VALEURS des RAPPORTS.	MOYENNES.
0m,22 à gauche.....	1,108	1,110
0m,11 au-dessus.....	1,110	
	1,112	
0m,22 à droite.....	1,117	1,109
0m,11 au-dessus.....	1,103	
	1,108	
0m,22 à gauche.....	1,108	1,096
0m,11 au-dessous.....	1,099	
	1,081	
0m,22 à droite.....	1,125	1,105
0m,11 au-dessous.....	1,094	
	1,097	
Moyenne des 12 rapports..	1,105	

On voit que les rapports des vitesses sont bien égaux pour les points symétriques; la moyenne des valeurs de ces rapports est, pour les quatre points que nous venons de considérer, 1,105.

Faisons de même la moyenne de ces rapports pour tous les groupes de points symétriques. Ces groupes sont pour chaque tuyau au nombre de quinze, et le résultat du calcul est renfermé dans les deux tableaux suivants.

SÉRIE N° 51. (Tableau n° 3.)

DISTANCES verticales à l'axe.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE.				
	0	0m,11.	0m,22.	0m,33.	0m,37.
0	1,.76	1,163	1,130	0,967	0,870
0m,11	1,119	1,111	1,105	0,957	0,849
0m,22	0,891	0,883	0,870	0,855	0,799

SÉRIE N° 52. (TABLEAU N° 3.)

DISTANCES VERTICALES à l'axe.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE.				
	0	0m,066.	0m,132.	0m,198.	0m,222.
0	1,226	1,215	1,159	0,978	0,831
0m,066	1,131	1,128	1,119	0,963	0,820
0m,132	0,897	0,887	0,872	0,809	0,746

18. Ces deux tableaux renferment sous la forme la plus succincte le résumé complet des séries nos 51 et 52. Avant de les discuter rapportons en peu de mots les résultats obtenus par M. Darcy sur les tuyaux de conduite.

M. Darcy mesura la vitesse dans l'intérieur de chaque tuyau en trois points situés : 1° au centre; 2° au tiers du rayon; 3° aux deux tiers du rayon. Il opéra sur cinq tuyaux ayant 0m,188, 0m,2432, 0m,2447, 0m,297 et 0m,50 de diamètre, et de 22 séries d'expériences exécutées avec des charges très-diverses, il déduisit entre la vitesse maxima V et la vitesse v en un point quelconque de la section, la relation générale :

$$V - v = K\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{2}}\sqrt{RI}$$

K désignant un coefficient numérique constant et égal à 11,3, r la distance du point considéré au centre, R le rayon du tuyau et I la perte de charge par mètre.

Telle est la formule très-simple à l'aide de laquelle on peut obtenir les vitesses dans l'intérieur d'un tuyau à section circulaire. Elles sont évidemment les mêmes pour tous les points situés à égale distance du centre. Mais dans un tuyau rectangulaire la question est beaucoup plus compliquée; il ne s'agit plus en effet de constater une loi de décroissance parfaitement égale de toutes parts autour de l'axe; la décroissance s'opère inégalement dans les différents sens, et l'expression de la loi des vitesses est néces-

sairement fonction des deux coordonnées qui déterminent la position de chaque point.

Représentation graphique.

19. On rend sensible aux yeux la distribution des vitesses en la représentant d'une manière graphique. Reportons-nous aux tableaux n° 3, qui contiennent les moyennes pour chaque tuyau. Soit (pl. XVIII, fig. 7), la coupe du tuyau de $0^m,80$ de largeur sur $0^m,50$ de hauteur, le seul que nous considérions en ce moment; inscrivons à côté de chacun des 45 points la valeur moyenne du rapport $\frac{V}{U}$ tirée du tableau n° 3. Ces valeurs se reproduisent symétriquement dans les quatre parties de la section. Si l'on détermine tous les points pour lesquels ce rapport est égal à une même quantité K, et qu'on les joigne par un trait continu, on obtiendra une courbe fermée. Nous construirons seulement quatre de ces courbes d'égale vitesse, savoir : celles qui correspondent aux valeurs $K = 0,80$, $0,90$, $1,00$ et $1,10$.

Cette construction peut se faire d'une manière fort simple : supposons que l'on se propose de déterminer la courbe pour laquelle $\frac{V}{U} = 0,80$. Les points où l'on a mesuré la vitesse sont répartis sur une série de lignes verticales *aa, bb, cc,*..... contenant chacune cinq points. Si l'on considère en particulier ceux qui se trouvent sur la ligne *aa,* et que l'on construise une courbe *aaa* dans laquelle les abscisses représentent les distances des points entre eux et les ordonnées les valeurs de $\frac{V}{U}$, cette courbe donnera graphiquement une idée de la loi de variation des vitesses suivant *aa;* en la traçant avec soin on pourra déterminer avec assez d'exactitude le point dont l'ordonnée est égale à 0,80, et par suite le point correspondant de la ligne *aa,* c'est-à-dire le point où cette ligne est coupée par la courbe qu'il s'agit de tracer. En opérant de même sur les autres verticales *bb, cc*... et sur les horizontales *ff, gg*... on aura sur chacune de ces lignes le point d'intersection avec la courbe cherchée. C'est ainsi qu'ont été déterminées les quatre courbes rapportées sur la figure. Elles sont extrêmement régulières, et diffèrent très-peu de rectangles dont

les côtés seraient parallèles aux parois du tuyau. Ces rectangles sont loin d'être géométriquement semblables, et s'aplatissent à mesure que l'on se rapproche de l'axe. Les courbes d'égale vitesse tendent évidemment à reproduire la forme même des parois: on voit de plus qu'elles en suivent les contours en conservant à peu de chose près leurs distances respectives.

La loi suivant laquelle croissent les vitesses à partir de la paroi paraît donc être la même sur tout le périmètre du tuyau.

20. Le tracé des courbes d'égale vitesse dans l'intérieur de la section du second tuyau conduit à des résultats presque identiques (voir pl. XVIII, fig. 9). Les anomalies que nous avons fait remarquer dans cette série disparaissent en faisant la moyenne des valeurs de $\frac{V}{U}$ pour chaque groupe de points symétriques. Ces anomalies tiennent évidemment à ce que les ajutages du tube jaugeur se sont trouvés, par suite de quelque circonstance accidentelle, placés un peu trop bas, car les valeurs de $\frac{V}{U}$ pour les points situés dans la partie supérieure de la section sont partout plus fortes que celles qui ont été obtenues aux points correspondants de la partie inférieure; il est donc vraisemblable que les premières sont trop fortes et les secondes trop faibles, de telle sorte que les erreurs se compensent à fort peu près lorsqu'on les ajoute pour en former la moyenne.

Expériences comparatives exécutées à ciel ouvert.

21. Examinons maintenant comment les expériences précédentes peuvent conduire à une évaluation précise de la résistance de l'air. Supposons que le tuyau coulant à pleine section sous une perte de charge ou pente par mètre I, débite un volume Q; supposons en outre, ce qui ne change rien aux conditions de l'écoulement, que son axe soit en même temps parfaitement rectiligne et que son inclinaison sur l'horizontale soit précisément égale à I. Considérons enfin la section du tuyau comme composée de deux parties séparées par un plan horizontal passant par l'axe; la distribution des vitesses est exactement semblable dans ces

deux parties, et, en raison de l'égalité parfaite des vitesses, l'eau contenue dans l'une d'elles n'exerce aucune action sur celle qui est contenue dans l'autre. Il semble donc que si l'on venait à enlever tout à coup la partie supérieure et que l'écoulement se continuât à ciel ouvert dans la partie inférieure, les vitesses resteraient exactement les mêmes, et le canal découvert ainsi obtenu débiterait avec la pente I un volume $\frac{Q}{2}$, en admettant que la résistance de l'air fût sans influence appréciable. Si au contraire l'écoulement se trouve retardé par la résistance de l'air, le canal découvert, en supposant toujours que la surface du courant atteigne l'axe du tuyau, ne pourra plus débiter qu'un volume inférieur à $\frac{Q}{2}$.

22. C'est d'après ces considérations qu'ont été faites les expériences suivantes. En se reportant au tableau n° 1 de la série n° 51, on voit que le premier tuyau débitait un volume de $0^{mc},618$ avec une pente de $0^{m},00427$ par mètre; après avoir enlevé le dessus du tuyau, on en a réglé le fond avec le plus grand soin suivant une pente sensiblement égale au chiffre précédent. On a ensuite expérimenté en y faisant couler différents volumes d'eau : ces expériences sont celles de la série n° 19 rapportées dans le chapitre II de la 2e partie; nous n'avons à considérer ici que l'expérience n° 6, dans laquelle la surface du courant s'est trouvée la plus voisine de l'axe du tuyau. La profondeur a été de $0^{m},2458$ et le débit de $0^{mc},307$. L'influence de la résistance de l'air, si elle est appréciable, doit donc ressortir de la comparaison des chiffres suivants :

Tuyau complet.		Demi-tuyau.	
Section.....	$0^{m},50 \times 0^{m},80$	Section.....	$0^{m},2458 \times 0^{m},80$
Pente par mètre	$0^{m},00427$	Pente par mètre	$0^{m},0043$
Débit.....	$0^{mc},618$	Débit.....	$0^{mc},307$

La moitié du débit du tuyau complet est $0^{mc},309$. Le demi-tuyau n'a débité à ciel ouvert que $0^{mc},307$; mais il faut remar-

quer que la surface du courant n'atteignait pas l'axe et était encore à $0^m,0042$ au-dessous; si l'on tient compte de cette circonstance, on trouve que, toutes proportions gardées, le débit du canal à ciel ouvert surpasserait légèrement celui du tuyau fermé. On n'obtient donc comme appréciation de la résistance de l'air qu'un résultat précisément inverse de celui que l'on pouvait attendre. Ces expériences ont été exécutées par un temps calme; d'ailleurs le canal sur lequel on opérait était très-encaissé et l'influence du vent aurait été très-faible.

23. Une opération semblable, faite en 1859 sur le deuxième tuyau, n'a pas conduit à un résultat plus concluant. Après avoir enlevé le dessus du tuyau, on en a réglé le fond suivant une pente de $0^m,006$ par mètre, et l'on a fait sur ce petit canal la série d'expériences n° 20. L'expérience n° 3 est la seule qui doive nous occuper ici; en la comparant à l'expérience n° 6 de la série n° 52, on a :

Tuyau complet.		Demi-tuyau.	
Section.....	$0^m,30 \times 0^m,48$	Section... ...	$0^m,1513 \times 0^m,48$
Pente par mètre	$0^m,00627$	Pente par mètre	$0^m,006$
Débit.....	$0^{mc},191$	Débit.....	$0^{mc},093$

La moitié du débit du tuyau complet est $0^{mc},0955$, chiffre un peu supérieur au débit du canal ouvert. La surface de l'eau dans ce dernier dépassait l'axe de $0^m,0013$; en tenant compte de cette circonstance et de la différence des pentes, on est conduit à constater une supériorité de débit assez faible, il est vrai, dans le tuyau fermé, résultat précisément inverse de celui que nous avons obtenu plus haut.

Il est vrai que la mesure des pertes de charge du tuyau, des pentes et des profondeurs du courant découvert, n'est pas susceptible d'une précision rigoureuse; l'influence que l'on cherche à déterminer, n'étant certainement pas très-importante, peut disparaître au milieu des petites erreurs inhérentes au mode d'expérimentation.

24. La comparaison des chiffres qui précèdent ne peut donc conduire à rien de concluant, et paraît, au contraire, démontrer que la résistance de l'air n'a, dans un temps calme, que fort peu d'influence sur l'écoulement.

Mais en étudiant la répartition des vitesses dans les deux petits canaux que nous venons de considérer, on est amené à des résultats plus importants. Afin de faciliter les comparaisons, on a mesuré ces vitesses autant que possible dans les points qui avaient été adoptés pour l'écoulement à tuyau fermé. Les résultats de cette opération sont contenus dans les deux tableaux suivants.

SÉRIE N° 53.

(17 mars 1858.)

PROFONDEUR au-dessous de la surface.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0m,37	0m,33	0m,22	0m.11	0	0m,11	0m,22	0m,33	0m,37
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,03	0,834	0,947	1,106	1,186	1,245	1,180	1,087	0,911	0,771
0,11	0,863	1,011	1,136	1,173	1,180	1,165	1,136	1,019	0,859
0,17	0,844	0,947	1,007	1,068	1,072	1,052	1,007	0,947	0,849
0,22	0,738	0,777	0,834	0,897	0,911	0,872	0,824	0,771	0,738

SÉRIE N° 54.

(29 avril 1859.)

PROFONDEUR au-dessous de la surface.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0m,222	0m,198	0m,132	0m,066	0	0m,066	0m,132	0m,198	0m,222
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,020	0,788	0,956	1,082	1,181	1,229	1,167	1,077	0,944	0,773
0,066	0,837	0,926	1,077	1,139	1,192	1,133	1,077	0,920	0,837
0,132	0,637	0,713	0,766	0,843	0,882	0,850	0,773	0,704	0,646

25. En opérant comme nous l'avons expliqué plus haut on

peut tracer dans l'intérieur de chacune des deux sections les courbes d'égale vitesse (planche XVIII, fig. 8 et 10). A l'aspect de ces courbes on reconnaît immédiatement qu'elles diffèrent beaucoup de celles qui avaient été obtenues dans le cas du tuyau fermé. Au lieu de présenter à peu près la forme de rectangles, elles affectent une figure elliptique beaucoup plus prononcée, surtout lorsqu'on se rapproche de l'axe; au lieu de venir couper à angle droit la surface horizontale du courant, elles la rencontrent, au contraire, sous un angle aigu, et manifestent, en s'en rapprochant, une tendance à se refermer. Cette tendance est surtout sensible dans le canal de $0^m,80$ de largeur. Enfin elles sont plus éloignées de l'axe que dans le cas du tuyau fermé, comme on peut le voir par le tableau suivant :

INDICATION DES COURBES D'ÉGALE VITESSE.	DISTANCES DES COURBES D'ÉGALE VITESSE À L'AXE DU TUYAU PRIMITIF. (Ces distances sont mesurées sur la verticale passant par l'axe.)			
	Tuyau de $0^m,80$ de largeur.		Tuyau de $0^m,48$ de largeur.	
	Tuyau fermé.	Écoulement à ciel ouvert.	Tuyau fermé.	Écoulement à ciel ouvert.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Courbe des vitesses V = 1,10 U...	0,120	0,155	0.075	0,090
Courbe des vitesses moyennes....	0,180	0,195	0,105	0,115
Courbe des vitesses V = 0,90 U...	0,215	0,225	0,130	0,130
Courbe des vitesses V = 0.80 U...	0,250	0,245	0,150	0,140

Les deux premières courbes sont notablement plus éloignées dans le cas de l'écoulement à ciel ouvert; la troisième occupe sensiblement la même position; la quatrième paraît, au contraire, s'être légèrement rapprochée. La loi de répartition des vitesses est donc complétement modifiée; la vitesse moyenne, qui était dans le tuyau fermé à peu près aux deux tiers de la profondeur, se trouve maintenant aux quatre cinquièmes; l'inflexion des

courbes à l'approche de la surface du courant indique de plus que la vitesse maxima est au-dessous de la surface. Cette conclusion, bien connue du reste, ne paraît pas ici justifiée par une mesure précise, mais elle sera démontrée plus loin par un grand nombre d'exemples.

26. Une perturbation aussi notable ne peut pas être uniquement attribuée à la résistance opposée par l'air au mouvement des tranches supérieures du fluide, car cette résistance était extrêmement faible dans les expériences précédentes. Il faut nécessairement reconnaître que l'hypothèse dont nous sommes parti en assimilant le canal découvert à un demi-tuyau n'est pas admissible, et que l'écoulement s'opère dans des conditions tout à fait différentes, lorsque la surface supérieure du courant est libre, ou lorsqu'au contraire le fluide est maintenu de toutes parts par des parois fixes.

Quand l'écoulement s'opère dans un tuyau, l'invariabilité des parois établit une sorte de solidarité entre toutes les parties du liquide, et s'oppose aux mouvements irréguliers et aux tourbillonnements que l'on remarque sur la surface des canaux. Aussi constate-t-on une parfaite régularité dans la figure des courbes d'égale vitesse, qui reproduisent fidèlement les contours de la paroi solide.

Dans l'écoulement à ciel ouvert, au contraire, l'absence de résistance sur la surface supérieure du courant, le défaut de symétrie et d'invariabilité dans la section favorisent la production de mouvements irréguliers de toute espèce aux approches de la surface, et c'est, sans doute, à cette circonstance qu'il faut attribuer, en grande partie, la diminution de vitesse que l'on remarque dans les tranches supérieures. Si cette décroissance n'avait d'autre cause que la résistance opposée par la couche d'air en contact, elle disparaîtrait complétement dans le cas d'un vent soufflant d'amont avec une vitesse supérieure à celle du courant. Mais, ainsi que le fait remarquer M. Boileau (*Traité de la mesure des eaux courantes*), cette circonstance ne se réalise que dans le cas d'un

vent violent, et le maximum de vitesse se trouve encore au-dessous de la surface, même lorsque le vent souffle d'amont avec une vitesse supérieure à celle du courant. C'est donc dans la constitution intime et dans les mouvements intérieurs du courant qu'il faut chercher la cause des irrégularités qui se produisent dans la partie supérieure.

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS L'INTÉRIEUR DES COURANTS.

27. Jusqu'à présent nous n'avons considéré dans un courant que la vitesse moyenne, sans nous occuper de la répartition des vitesses dans les divers points de la section; toutes les expériences, à l'exception de celles qui font l'objet des deux chapitres précédents, n'ont eu d'autre but que d'obtenir des relations permettant de déduire la vitesse moyenne des données géométriques et physiques fournies par la nature du lit. Il nous reste maintenant à étudier la distribution des vitesses, question d'une haute importance au point de vue théorique. On a vu, dans la première partie, quelle était la disposition des appareils, et combien le tube jaugeur imaginé par M. Darcy présentait d'avantages pour de semblables recherches; il est donc inutile d'entrer dans de nouveaux détails à ce sujet. La mesure des vitesses en un grand nombre de points est nécessairement une opération fort longue; entreprendre une semblable opération pour tous les courants à régime uniforme, sur lesquels ont été exécutées les expériences rapportées dans les chapitres I, II et III de la deuxième partie, était complétement impraticable, et il a fallu se borner à 82 d'entre eux, chiffre déjà bien considérable du reste. Ces 82 expériences forment 23 séries, savoir :

Série n° 55 (voir série n° 2). Canal rectangulaire en ciment.
Série n° 56 (voir série n° 4). *Idem*..... revêtu de petit gravier.
Série n° 57 (voir série n° 5). *Idem*..... revêtu de gros gravier.
Série n° 58 (voir série n° 9) *Idem*..... en planches.
Série n° 59 (voir série n° 10). *Idem*..... en planches.
Série n° 60 (voir série n° 11). *Idem*..... en planches.

Série n° 61 (voir série n° 12). Canal rectangulaire en planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,01$.
Série n° 62 (voir série n° 13). *Idem*..... *idem.*
Série n° 63 (voir série n° 14). *Idem*..... *idem.*
Série n° 64 (voir série n° 15). *Idem*..... en planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,05$.
Série n° 65 (voir série n° 16). *Idem*.... ..... *idem.*
Série n° 66 (voir série n° 17). *Idem*..... *idem.*
Série n° 67 (voir série n° 19). *Idem*..... en planches.
Série n° 68 (voir série n° 21). Canal trapézoïdal en planches.
Série n° 69 (voir série n° 22). *Idem*..... en planches.
Série n° 70 (voir série n° 23). Canal triangulaire en planches.
Série n° 71 (voir série n° 24). Canal demi-circulaire en ciment.
Série n° 72 (voir série n° 25). *Idem*..... en ciment mélangé d'un tiers de sable.
Série n° 73 (voir série n° 26). *Idem*..... en planches.
Série n° 74 (voir série n° 27). *Idem*..... revêtu de petit gravier.
Série n° 75 (voir série n° 39). Rigole murée du Tillot.
Série n° 76 (voir série n° 42). *Idem*..... du Roussot.
Série n° 77 (voir série n° 44). *Idem*..... de Grosbois.

Il faut ajouter à ces 23 séries trois expériences isolées faites par M. Baumgarten sur le canal de Marseille; ces expériences, dont nous n'avons pas fait une série spéciale, sont figurées sur la planche V.

28. La représentation graphique de résultats aussi nombreux aurait conduit à augmenter considérablement le nombre des planches; nous avons dû nous borner à reproduire seulement les plus saillants sur les planches XIX à XXIII. Ces planches renferment 43 profils en travers, avec l'indication des vitesses obtenues en chaque point; ces profils se répartissent ainsi entre les différentes séries :

Planche XIX.....	Série n° 55.	Expérience n° 1.
	Série n° 56.	n° 1.
	Série n° 57.	n° 1.
	Série n° 58.	Expériences n°s 2 et 4.
	Série n° 59.	n°s 3 et 4.
	Série n° 60.	n°s 1 et 2.
Planche XX.....	Série n° 61.	n°s 2 et 4.
	Série n° 62.	n°s 3 et 4.

Planche XX. (Suite.)	Série n° 63.	Expériences n°s 2 et 3.
	Série n° 64.	n°s 1 et 2.
	Série n° 65.	n°s 3 et 4.
	Série n° 66.	n°s 1 et 2.
Planche XXI.	Série n° 67.	n°s 2 et 3.
	Série n° 68.	n°s 2 et 4.
	Série n° 69.	n°s 2 et 6.
	Série n° 70.	n°s 2 et 6.
Planche XXII.	Série n° 71.	n°s 2 et 6.
	Série n° 72.	n°s 2 et 5.
	Série n° 73.	n°s 2 et 4.
	Série n° 74.	n°s 1 et 4.
Planche XXIII.	Série n° 75.	n°s 2 et 4.
	Série n° 76.	n°s 1 et 4.
	Série n° 77.	n°s 1 et 4.

29. Indépendamment de cette représentation graphique de quelques-unes d'entre elles, toutes les expériences seront rapportées ci-après, à l'aide de tableaux dont nous allons indiquer la disposition.

Les points où la vitesse a été mesurée sont ordinairement distribués d'une manière régulière, comme on peut le voir en examinant les planches. Si l'on trace : 1° une série de lignes horizontales parallèles à la surface de l'eau, 2° une série de lignes verticales symétriquement placées deux à deux par rapport à celle qui passe par l'axe du courant, les intersections de ces lignes seront les points choisis pour la mesure des vitesses; chacun de ces points est donc déterminé, si l'on indique sa profondeur au-dessous de la surface et sa distance à l'axe du courant; la première de ces deux coordonnées est constante pour tous les points situés sur une même ligne horizontale; la seconde est également constante pour tous ceux qui se trouvent sur une même verticale. Il résulte donc de la disposition adoptée que les résultats obtenus dans toute l'étendue de la section peuvent être compris dans un tableau à double entrée d'une forme très-simple.

Admettons, pour fixer les idées, que les points où l'on a mesuré la vitesse soient au nombre de 21, résultant des intersections : 1° de 3 lignes horizontales placées à $0^m,03$, à $0^m,13$ et

à $0^m,23$ au-dessous de la surface; 2° de 7 lignes verticales, la première passant par l'axe du courant, les 6 autres placées symétriquement à droite et à gauche, à $0^m,40$, $0^m,70$ et $0^m,90$. Construisons un tableau à double entrée, composé de 3 lignes horizontales et 7 colonnes verticales, en inscrivant en tête des lignes horizontales les chiffres $0^m,03$, $0^m,13$, $0^m,23$, et en tête des colonnes verticales les chiffres $0^m,40$, $0^m,70$ et $0^m,90$:

PROFONDEURS au-dessous de la surface.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.						
	$0^m,90$	$0^m,70$	$0^m,40$	0	$0^m,40$	$0^m,70$	$0^m,90$
	À GAUCHE.				À DROITE.		
mèt. 0,03	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0,13	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
0,23	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....

Il est clair que chacune des 21 cases de ce tableau peut correspondre à l'un des points où la vitesse a été mesurée : la distance de ce point à l'axe du courant ou sa coordonnée dans le sens horizontal sera donnée par le chiffre inscrit en tête de la colonne verticale dont fait partie la case que l'on considère. La profondeur au-dessous de la surface sera donnée par le chiffre inscrit en tête de la ligne horizontale; par exemple, la troisième case de la deuxième ligne correspond au point situé à $0^m,40$ à gauche de l'axe et à $0^m,13$ au-dessous de la surface. Il est donc facile de réunir ainsi les résultats obtenus dans toute l'étendue de la section transversale, dans un tableau résumé qui en offre une sorte de représentation graphique.

Cette forme de tableau convient parfaitement aux sections

rectangulaires, mais elle n'est pas aussi commode pour une autre figure du profil transversal. Elle peut néanmoins être conservée en laissant en blanc les cases du tableau auxquelles ne correspondait aucun point dans l'expérience; ainsi, lorsque la section est triangulaire (série n° 70) ou trapézoïdale (séries n°s 68 et 69), l'ensemble du tableau, en ne tenant pas compte des cases laissées en blanc, reproduit à peu près la physionomie générale du profil. Lorsque la section est circulaire (séries n°s 71, 72, 73 et 74), la disposition des points choisis pour la mesure des vitesses est nécessairement plus compliquée. La forme de tableau à double entrée a encore pu être conservée pour les premières expériences de chaque série; mais elle a dû nécessairement être modifiée pour la dernière, où les points étaient disposés sur des cercles concentriques ayant pour centre le centre même de la section. Les valeurs des coordonnées variant d'un point à l'autre, il eût fallu un très-grand nombre de colonnes en suivant la forme adoptée pour les autres expériences. On a donc réuni dans une colonne verticale tous les points qui se trouvaient sur un même cercle; le rayon de ce cercle est indiqué en tête de la colonne, et les deux coordonnées de chaque point sont inscrites à côté de la valeur correspondante de la vitesse. La forme du tableau ne rappelle donc plus ici la figure de la section. Du reste, l'examen des planches supplée à ce que les tableaux numériques présentent nécessairement d'obscur. Afin de faciliter les comparaisons, le nombre inscrit dans la case correspondante à chaque point n'indique pas la valeur absolue de la vitesse V mesurée en ce point, mais le rapport $\frac{V}{U}$ de cette vitesse à la vitesse moyenne U; la valeur de cette dernière est toujours inscrite en tête du tableau. On comprend en effet que ce qu'il importe le plus de connaître, ce sont les rapports des vitesses et leur répartition, leurs valeurs absolues variant nécessairement dans chaque cas particulier. On a également inscrit en tête du tableau le débit par seconde et la profondeur mesurée dans l'axe du courant.

SÉRIE N° 55. (Voir SÉRIE N° 2.)

(24 octobre 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE EN CIMENT. (Voir planche XIX, fig. 1.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},269. — Vitesse moyenne : 2^{m},509.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.						
	0^{m},86	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},82
	À GAUCHE.				À DROITE.		
mèt.							
0,030	0,947	1,095	1,229	1,201	1,182	1,072	0,931
0,107	0,952	1,104	1,191	1,151	1,145	1,053	0,936
0,163	0,937	1,049	1,132	1,087	1,081	0,999	0,912
0,219	0,883	0,976	1,046	0,992	0,992	0,890	0,826

SÉRIE N° 56. (Voir SÉRIE N° 4.)

(14 octobre 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER. (Voir planche XIX, fig. 2.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},394. — Vitesse moyenne : 1^{m},714.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},87	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},80	0^{m},83
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,050	0,758	0,921	1,081	1,247	1,362	1,201	1,090	"	0,849
0,148	0,771	0,974	1,084	1,261	1,320	1,226	1,102	"	0,902
0,246	0,736	0,928	0,991	1,144	1,226	1,147	0,895	"	0,837
0,344	0,669	0,736	0,771	0,960	1,034	0,932	0,783	"	0,703

SÉRIE N° 57. (Voir SÉRIE N° 5.)

(27 septembre 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE REVÊTU DE GROS GRAVIER. (Voir planche XIX, fig. 3.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},452. — Vitesse moyenne : 1^{m},471.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},88	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},80	0^{m},84
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,050	0,724	0,902	1,100	1,247	1,401	1,247	1,079	0,897	0,829
0,167	0,737	0,988	1,129	1,272	1,401	1,297	1,137	0,974	0,872
0,284	0,779	0,922	0,988	1,161	1,276	1,177	1,006	0,912	0,829
0,402	0,602	0,658	0,737	0,856	0,917	0,829	0,718	0,631	0,631

SÉRIE N° 58. (Voir SÉRIE N° 9.)

(24, 26, 27, 29 avril, 1er mai 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,964	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,964
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
EXPÉRIENCE N° 1. Débit : 0mc,203. — Profondeur du courant : 0m,138. — Vitesse moyenne : 0m,730.													
0,038	0,743	0,959	1,032	1,085	1,167	1,182	1,213	1,199	1,182	1,085	1,051	0,940	0,743
0,108	0,665	0,790	0,900	0,940	0,978	0,997	0,997	0,978	0,978	0,921	0,879	0,790	0,665
EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XIX, fig. 4.) Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,215. — Vitesse moyenne : 0m,953.													
0,035	0,818	0,929	1,028	1,148	1,185	1,212	1,212	1,212	1,185	1,148	1,018	0,941	0,818
0,135	0,777	0,857	0,958	1,018	1,039	1,049	1,060	1,060	1,049	1,039	0,975	0,857	0,791
0,185	0,673	0,720	0,791	0,857	0,881	0,894	0,894	0,906	0,881	0,881	0,791	0,720	0,689
EXPÉRIENCE N° 3. Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,332. — Vitesse moyenne : 1m,248.													
0,032	0,785	0,905	0,985	1,093	1,176	1,183	1,197	1,183	1,181	1,093	0,973	0,905	0,793
0,132	0,785	0,946	1,004	1,082	1,102	1,122	1,127	1,117	1,117	1,082	0,998	0,933	0,793
0,232	0,777	0,862	0,912	0,979	1,022	1,034	1,034	1,029	1,029	0,979	0,919	0,869	0,769
0,302	0,645	0,684	0,735	0,825	0,862	0,855	0,877	0,855	0,855	0,838	0,727	0,683	0,645
EXPÉRIENCE N° 4. (Voir planche XIX, fig. 5.) Débit : 1mc,286. — Profondeur du courant : 0m,436. — Vitesse moyenne : 1m,429.													
0,036	0,815	0,914	0,985	1,087	1,177	1,200	1,243	1,228	1,148	1,091	0,981	0,914	0,815
0,136	0,809	0,955	1,051	1,118	1,168	1,181	1,208	1,184	1,177	1,113	1,055	0,940	0,823
0,236	0,803	0,904	0,965	1,004	1,037	1,069	1,110	1,087	1,051	1,004	0,965	0,909	0,797
0,336	0,734	0,877	0,893	0,940	0,981	0,995	1,004	0,995	0,990	0,940	0,893	0,883	0,747
0,406	0,643	0,686	0,727	0,747	0,803	0,809	0,826	0,815	0,809	0,747	0,734	0,693	0,643

SÉRIE N° 59. (Voir SÉRIE N° 10.)

(24, 26, 27, 29 avril 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,967	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,967
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
EXPERIENCE N° 1.													
Débit : 0mc,203. — Profondeur du courant : 0m,084. — Vitesse moyenne : 1m,207.													
0,024	0,929	1,050	1,171	1,183	1,189	1,189	1,200	1,177	1,171	1,136	1,095	1,018	0,877
0,054	0,884	0,914	1,044	1,018	1,076	1,063	1,082	1,057	1,031	1,025	0,992	0,884	0,715
EXPÉRIENCE N° 2.													
Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,134. — Vitesse moyenne : 1m,573.													
0,034	0,882	1,020	1,120	1,185	1,192	1,192	1,202	1,198	1,198	1,192	1,116	1,015	0,872
0,104	0,836	0,849	0,955	1,000	1,003	0,996	1,003	0,996	1,003	0,996	0,934	0,868	0,821
EXPÉRIENCE N° 3. (Voir planche XIX, fig. 6.)													
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,201. — Vitesse moyenne : 2m,051.													
0,031	0,848	0,966	1,022	1,163	1,187	1,187	1,191	1,188	1,187	1,158	1,025	0,966	0,831
0,111	0,836	0,949	0,993	1,097	1,099	1,097	1,099	1,099	1,092	1,084	0,985	0,919	0,848
0,171	0,726	0,790	0,881	0,904	0,914	0,926	0,932	0,924	0,904	0,898	0,823	0,748	0,719
EXPÉRIENCE N° 4. (Voir planche XIX, fig. 7.)													
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,265. — Vitesse moyenne : 2m,318.													
0,035	0,861	0,980	1,035	1,129	1,213	1,234	1,236	1,231	1,214	1,116	1,043	0,968	0,837
0,135	0,830	0,993	1,039	1,122	1,154	1,139	1,143	1,141	1,135	1,094	1,000	0,972	0,835
0,185	0,811	0,906	0,920	1,047	1,062	1,059	1,060	1,060	1,059	1,027	0,910	0,892	0,826
0,235	0,681	0,754	0,786	0,894	0,920	0,929	0,940	0,924	0,918	0,894	0,771	0,745	0,683

SÉRIE N° 60. (Voir SÉRIE N° 11.)

(25 et 26 mai 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,967	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,967
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
EXPÉRIENCE N° 1. (Voir planche XIX, fig. 8.)													
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,180. — Vitesse moyenne : 2m,297.													
0,030	0,788	0,923	1,022	1,152	1,162	1,171	1,170	1,184	1,186	1,178	1,040	0,952	0,793
0,090	0,816	0,942	0,994	1,099	1,086	1,100	1,111	1,107	1,105	1,116	1,033	0,942	0,821
0,140	0,776	0,795	0,869	0,973	0,952	0,979	0,973	0,987	0,975	0,973	0,923	0,816	0,802
EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XIX, fig. 9.)													
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,247. — Vitesse moyenne : 2m,571.													
0,030	0,786	0,882	1,000	1,127	1,215	1,214	1,195	1,222	1,215	1,154	1,025	0,924	0,792
0,130	0,833	0,955	1,010	1,118	1,143	1,115	1,115	1,127	1,146	1,114	1,023	0,975	0,833
0,207	0,778	0,823	0,835	0,978	0,969	0,985	0,966	0,985	0,991	0,978	0,858	0,819	0,799

SÉRIE N° 61. (Voir SÉRIE N° 12.)

(11, 13 et 14 février 1859.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,01.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,944	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,944
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
EXPÉRIENCE N° 1. Débit : 0mc,203. — Profondeur du courant : 0m,160. — Vitesse moyenne : 0m,643.													
0,030	0,754	0,924	1,045	1,193	1,193	1,213	1,231	1,213	1,213	1,193	1,067	0,998	0,815
0,080	0,815	0,897	1,045	1,110	1,110	1,132	1,132	1,110	1,110	1,110	1,045	0,924	0,843
0,120	0,754	0,815	0,950	0,973	0,973	0,998	1,067	0,998	0,998	0,998	0,973	0,815	0,754
EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XX, fig. 1.) Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,244. — Vitesse moyenne : 0m,854.													
0,041	0,787	0,883	0,927	1,136	1,260	1,270	1,270	1,239	1,217	1,183	1,010	0,927	0,803
0,131	0,769	0,868	0,957	1,112	1,147	1,159	1,159	1,159	1,147	1,019	0,984	0,883	0,836
0,204	0,695	0,752	0,787	0,898	0,913	0,998	0,998	0,984	0,943	0,927	0,836	0,733	0,715
EXPÉRIENCE N° 3 Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,377. — Vitesse moyenne : 1,109.													
0,037	0,726	0,838	0,945	1,079	1,164	1,269	1,306	1,288	1,178	1,094	0,970	0,875	0,757
0,137	0,747	0,866	1,026	1,123	1,205	1,251	1,251	1,243	1,205	1,130	1,026	0,884	0,792
0,237	0,747	0,884	0,954	1,018	1,086	1,137	1,178	1,137	1,123	1,047	0,962	0,937	0,768
0,337	0,631	0,714	0,778	0,838	0,902	0,928	0,970	0,945	0,937	0,866	0,768	0,737	0,692
EXPÉRIENCE N° 4. (Voir planche XX, fig. 2.) Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,495. — Vitesse moyenne : 1m,267.													
0,040	0,773	0,825	0,957	1,054	1,148	1,211	1,265	1,250	1,196	1,077	0,976	0,885	0,766
0,155	0,773	0,898	1,060	1,148	1,206	1,236	1,279	1,260	1,221	1,170	1,043	0,925	0,766
0,255	0,717	0,842	0,989	1,100	1,148	1,211	1,270	1,215	1,154	1,077	1,025	0,891	0,758
0,355	0,766	0,842	0,938	0,970	1,077	1,138	1,159	1,170	1,083	0,964	0,925	0,878	0,766
0,455	0,663	0,733	0,758	0,805	0,878	0,957	0,964	0,945	0,905	0,781	0,766	0,708	0,672

SÉRIE N° 62. (Voir série n° 13.)

(10, 13, 14 et 15 janvier 1859.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,01.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,946	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,946
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
EXPÉRIENCE N° 1. Débit : 0mc,203. — Profondeur du courant : 0m,109. — Vitesse moyenne : 0m,961.													
0,030	0,862	0,967	1,128	1,219	1,227	1,219	1,219	1,227	1,227	1,219	1,147	1,009	0,874
0,079	0,728	0,771	0,933	0,988	0,988	0,988	0,955	0,933	0,967	0,978	0,874	0,728	0,699
EXPÉRIENCE N° 2. Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,158. — Vitesse moyenne : 1m,336.													
0,038	0,799	0,962	1,053	1,228	1,218	1,228	1,209	1,200	1,182	1,228	1,089	0,950	0,833
0,118	0,756	0,778	0,902	1,027	0,989	1,027	1,006	0,955	0,962	0,984	0,846	0,719	0,728
EXPÉRIENCE N° 3. (Voir planche XX, fig. 3.) Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,248. — Vitesse moyenne : 1m,702.													
0,030	0,777	0,913	0,981	1,150	1,278	1,267	1,267	1,280	1,285	1,155	1,019	0,913	0,785
0,130	0,810	0,946	0,998	1,135	1,190	1,155	1,147	1,170	1,187	1,119	0,988	0,946	0,823
0,210	0,684	0,741	0,781	0,887	0,928	0,942	0,935	0,924	0,920	0,871	0,732	0,699	0,689
EXPÉRIENCE N° 4. (Voir planche XX, fig. 4.) Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,320. — Vitesse moyenne : 1m,979.													
0,030	0,794	0,881	0,947	1,089	1,213	1,277	1,281	1,283	1,231	1,103	0,967	0,884	0,785
0,130	0,834	0,906	1,044	1,139	1,213	1,231	1,221	1,240	1,207	1,134	1,044	0,917	0,834
0,230	0,762	0,828	0,925	1,008	1,078	1,096	1,082	1,092	1,089	1,018	0,678	0,861	0,822
0,280	0,738	0,745	0,781	0,875	0,937	0,939	0,944	0,947	0,886	0,851	0,735	0,721	0,710

SÉRIE N° 63. (Voir série n° 14.)

(3, 5 et 6 mai 1859.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,01.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.												
	0m,944	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,944
	à gauche.							à droite.					
mèt.													
Expérience n° 1.													
Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,144. — Vitesse moyenne : 1m,454.													
0,030	0,794	0,943	1,085	1,237	1,234	1,248	1,263	1,248	1,248	1,246	1,119	0,982	0,823
0,104	0,746	0,771	0,929	1,028	1,028	1,037	1,051	1,028	1,028	1,046	0,948	0,800	0,789
Expérience n° 2. (Voir planche XX, fig. 5.)													
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,218. — Vitesse moyenne : 1m,925.													
0,030	0,766	0,876	0,987	1,169	1,241	1,243	1,268	1,249	1,240	1,169	0,995	0,882	0,770
0,120	0,753	0,876	0,917	1,099	1,103	1,111	1,137	1,113	1,101	1,084	0,915	0,873	0,766
0,178	0,720	0,734	0,783	0,943	0,946	0,968	0,981	0,973	0,954	0,940	0,777	0,731	0,720
Expérience n° 3. (Voir planche XX, fig. 6.)													
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,286. — Vitesse moyenne : 2m,199.													
0,029	0,717	0,850	0,980	1,130	1,241	1,253	1,275	1,256	1,245	1,125	0,984	0,854	0,732
0,129	0,783	0,896	0,997	1,143	1,180	1,171	1,178	1,165	1,186	1,145	1,003	0,864	0,762
0,196	0,720	0,859	0,873	1,037	1,084	1,062	1,073	1,062	1,088	1,044	0,878	0,868	0,734
0,246	0,656	0,706	0,712	0,875	0,898	0,901	0,921	0,916	0,925	0,875	0,720	0,712	0,673

SÉRIE N° 64. (Voir série n° 15.)

(18 et 21 mai 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.												
	0m,954	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,954
	à gauche.							à droite.					
mèt.													
Expérience n° 1. (Voir planche XX, fig. 7.)													
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,487. — Vitesse moyenne : 0m,856.													
0,057	0,674	0,834	0,940	1,085	1,180	1,278	1,359	1,288	1,191	1,098	0,940	0,850	0,674
0,157	0,674	0,865	0,981	1,110	1,202	1,288	1,378	1,319	1,236	1,133	0,995	0,881	0,674
0,257	0,654	0,785	0,925	1,035	1,145	1,257	1,309	1,299	1,180	1,060	0,981	0,818	0,654
0,357	0,612	0,714	0,767	0,925	1,035	1,072	1,191	1,156	1,072	0,940	0,785	0,731	0,633
0,457	0,461	0,517	0,566	0,694	0,731	0,767	0,865	0,785	0,750	0,694	0,590	0,543	0,461
Expérience n° 2. (Voir planche XX, fig. 8.)													
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,660. — Vitesse moyenne : 0m,948.													
0,030	0,591	0,768	0,874	1,013	1,126	1,210	1,263	1,228	1,126	1,044	0,910	0,782	0,591
0,130	0,609	0,849	1,013	1,154	1,210	1,245	1,280	1,254	1,210	1,173	1,034	0,862	0,609
0,230	0,591	0,822	0,992	1,164	1,263	1,297	1,322	1,305	1,271	1,183	1,013	0,823	0,591
0,330	0,660	0,849	0,992	1,106	1,263	1,271	1,297	1,288	1,263	1,126	1,023	0,874	0,693
0,430	0,608	0,768	0,935	0,992	1,145	1,183	1,245	1,236	1,164	0,992	0,923	0,823	0.660
0,530	0,591	0,753	0,768	0,899	1,034	1,066	1,116	1,085	0,992	0,849	0,809	0,782	0,609
0,630	0,467	0,512	0,572	0,608	0,709	0,738	0,768	0,738	0,724	0,627	0,591	0,553	0,490

SÉRIE N° 65. (Voir série n° 16.)

(7, 9, 10 et 11 décembre 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.												
	0m,956	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,956
	à gauche.							à droite.					
mèt.													
Expérience n° 1. Débit : 0mc,203. — Profondeur du courant : 0m,135. — Vitesse moyenne : 0m,756.													
0,030	0,868	1,014	1,126	1,228	1,200	1,296	1,282	1,228	1,243	1,256	1,110	0,868	0,763
0,110	0,693	0,716	0,907	0,962	0,907	1,031	0,944	0,888	0,888	0,849	0,785	0,668	0,522
Expérience n° 2. Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,207. — Vitesse moyenne : 1m,000.													
0,030	0,767	0,886	1,029	1,261	1,321	1,276	1,291	1,276	1,321	1,197	0,980	0,886	0,754
0,130	0,780	0,897	0,960	1,138	1,121	1,112	1,121	1,103	1,121	1,085	0,908	0,767	0,657
0,180	0,542	0,626	0,728	0,908	0,929	0,950	0,940	0,908	0,918	0,805	0,672	0,542	0,443
Expérience n° 3. (Voir planche XX, fig. 9.) Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,322. — Vitesse moyenne : 1m,295.													
0,030	0,649	0,764	0,931	1,139	1,280	1,385	1,414	1,351	1,252	1,087	0,905	0,788	0,640
0,130	0,701	0,924	1,071	1,223	1,311	1,338	1,311	1,289	1,275	1,170	0,943	0,757	0,676
0,230	0,684	0,831	0,872	1,020	1,144	1,134	1,086	1,082	1,060	0,979	0,764	0,709	0,592
0,290	0,551	0,684	0,716	0,838	0,845	0,892	0,899	0,852	0,809	0,780	0,631	0,507	0,419
Expérience n° 4. (Voir planche XX, fig. 10.) Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,412. — Vitesse moyenne : 1m,511.													
0,030	0,533	0,706	0,864	1,081	1,223	1,308	1,369	1,301	1,161	1,052	0,880	0,736	0,549
0,180	0,742	0,931	1,048	1,191	1,288	1,359	1,353	1,308	1,226	1,109	0,989	0,787	0,681
0,230	0,694	0,870	0,994	1,077	1,226	1,267	1,257	1,208	1,157	1,057	0,908	0,797	0,635
0,330	0,571	0,808	0,854	0,889	1,044	1,065	1,097	1,073	1,011	0,899	0,759	0,642	0,586
0,380	0,564	0,694	0,742	0,770	0,870	0,908	0,899	0,870	0,824	0,747	0,615	0,556	0,425

SÉRIE N° 66. (Voir SÉRIE N° 17.)

(18 et 21 mai 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,957	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90	0m,957
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
EXPÉRIENCE N° 1. (Voir planche XX, fig. 11.)													
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,288. — Vitesse moyenne : 1m,464.													
0,058	0,635	0,861	1,012	1,180	1,287	1,305	1,301	1,311	1,283	1,18[illegible]	1,007	0,856	0,627
0,158	0,642	0,839	0,937	1,124	1,176	1,184	1,164	1,156	1,176	1,091	0,917	0,806	0,627
0,258	0,438	0,566	0,589	0,729	0,789	0,771	0,789	0,771	0,789	0,729	0,574	0,541	0,406
EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XX, fig. 12.)													
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,380 — Vitesse moyenne : 1m,675.													
0,050	0,674	0,857	0,968	1,134	1,254	1,353	1,379	1,351	1,268	1,137	0,971	0,869	0,669
0,150	0,729	0,927	1,035	1,183	1,273	1,322	1,338	1,295	1,257	1,159	0,971	0,840	0,653
0,250	0,729	0,828	0,889	1,058	1,137	1,165	1,128	1,143	1,128	1,051	0,889	0,734	0,567
0,350	0,522	0,561	0,573	0,700	0,771	0,780	0,789	0,767	0,789	0,729	0,555	0,535	0,426

SÉRIE N° 67. (Voir série n° 19.)

(13, 15 et 16 mars 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES DE $0^m,80$ DE LARGEUR.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	$0^m,37$	$0^m,33$	$0^m,22$	$0^m,11$	0	$0^m,11$	$0^m,22$	$0^m,33$	$0^m,37$
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
EXPÉRIENCE N° 1.									
Débit : $0^{mc},100$. — Profondeur du courant : $0^m,110$. — Vitesse moyenne : $1^m,084$.									
0,030	0,923	1,058	1,253	1,293	1,293	1,266	1,213	1,026	0,895
0,060	0,847	0,950	1,105	1,149	1,141	1,119	1,089	0,967	0,857
0,080	0,786	0,828	1,009	1,066	1,074	1,074	1,009	0,877	0,838
EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXI, fig. 1.)									
Débit : $0^{mc},515$. — Profondeur du courant : $0^m,384$. — Vitesse moyenne : $1^m,689$.									
0,030	0,782	0,905	1,084	1,184	1,260	1,190	1,091	0,905	0,760
0,144	0,808	0,941	1,161	1,202	1,227	1,193	1,167	0,938	0,804
0,254	0,782	0,946	1,033	1,069	1,084	1,059	1,035	0,934	0,787
0,354	0,674	0,699	0,732	0,800	0,825	0,808	0,747	0,737	0,713
EXPÉRIENCE N° 3. (Voir planche XXI, fig. 2.)									
Débit : $0^{mc},721$. — Profondeur du courant : $0^m,486$. — Vitesse moyenne : $1^m,860$.									
0,030	0,882	0,961	1,083	1,159	1,202	1,151	1,068	0,940	0,862
0,156	0,868	0,982	1,164	1,205	1,214	1,205	1,151	0,982	0,865
0,256	0,832	0,964	1,117	1,137	1,137	1,134	1,117	0,967	0,825
0,356	0,828	0,953	1,035	1,010	1,007	1,007	1,049	0,953	0,825
0,456	0,726	0,771	0,793	0,811	0,845	0,828	0,814	0,835	0,753

SÉRIE N° 68. (Voir SÉRIE N° 21.)

(10, 13, 14 et 15 janvier 1859.)

CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES (PAROIS LATÉRALES INCLINÉES À 45°).

EXPÉRIENCE N° 1.

Débit : 0^{mc},203. — Profondeur du courant : 0^{m},191. — Vitesse moyenne : 0^{m},908.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0^{m},63	0^{m},60	0^{m},55	0^{m},50	0^{m},40	0^{m},20	0	0^{m},20	0^{m},40	0^{m},50	0^{m},55	0^{m},60	0^{m},63
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
0,030	0,771	0,830	"	1,046	1,175	1,175	1,204	1,194	1,165	1,011	"	1,064	0,786
0,110	"	"	0,786	0,938	1,068	1,057	1,101	1,057	1,079	0,975	0,786	"	"
0,160	"	"	"	0,830	0,950	0,925	0,987	0,975	0,950	0,844	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXI, fig. 3.)

Débit : 0^{mc},411. — Profondeur du courant : 0^{m},290. — Vitesse moyenne : 1^{m},118.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0^{m},70	0^{m},60	0^{m},50	0^{m},40	0^{m},20	0	0^{m},20	0^{m},40	0^{m},50	0^{m},60	0^{m},70
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,050	0,708	0,954	"	1,154	1,175	1,154	1,181	1,134	"	0,937	0,697
0,150	"	0,792	1,018	1,106	1,085	1,063	1,085	1,085	1,010	0,781	"
0,250	"	"	0,802	0,929	0,946	0,903	0,929	0,929	0,812	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : 0^{mc},824. — Profondeur du courant : 0^{m},433. — Vitesse moyenne : 1^{m},329.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.														
	0^{m},85	0^{m},80	0^{m},70	0^{m},60	0^{m},50	0^{m},40	0^{m},20	0	0^{m},20	0^{m},40	0^{m},50	0^{m},60	0^{m},70	0^{m},80	0^{m},85
	À GAUCHE.								À DROITE.						
mèt.															
0,043	0,675	0,830	0,982	1,064	"	1,183	1,183	1,196	1,196	1,158	"	1,043	0,988	0,836	0,675
0,093	"	0,782	0,977	1,049	"	1,178	1,178	1,154	1,173	1,158	"	1,032	0,949	0,788	"
0,193	"	"	0,737	0,949	"	1,140	1,115	1,085	1,104	1,144	"	0,949	0,730	"	"
0,293	"	"	"	0,737	1,000	1,069	1,064	1,010	1,049	1,095	1,005	0,730	"	"	"
0,393	"	"	"	"	0,803	0,906	0,912	0,843	0,888	0,918	0,803	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4. (Voir planche XXI, fig. 4.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},540. — Vitesse moyenne : 1^{m},497.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																
	0^{m},95	0^{m},90	0^{m},80	0^{m},70	0^{m},60	0^{m},50	0^{m},40	0^{m},20	0	0^{m},20	0^{m},40	0^{m},50	0^{m},60	0^{m},70	0^{m},80	0^{m},90	0^{m},95
	À GAUCHE.									À DROITE.							
mèt.																	
0,040	0,615	0,783	0,892	"	1,029	"	1,138	1,187	1,202	1,206	1,142	"	1,033	"	0,888	0,832	0,675
0,090	"	0,749	0,902	"	1,067	"	1,161	1,206	1,206	1,202	1,168	"	1,058	"	0,921	0,760	"
0,190	"	"	0,832	0,945	1,037	"	1,161	1,180	1,212	1,176	1,165	"	1,046	0,940	0,824	"	"
0,290	"	"	"	0,800	0,936	"	1,111	1,123	1,115	1,115	1,123	"	0,949	0,788	"	"	"
0,390	"	"	"	"	0,788	0,990	1,037	1,041	1,025	1,029	1,049	1,003	0,810	"	"	"	"
0,490	"	"	"	"	"	0,816	0,916	0,912	0,916	0,916	0,931	0,868	"	"	"	"	"

SÉRIE N° 69. (Voir SÉRIE N° 22.)

(25, 26 et 27 juillet 1857.)

CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES (L'UNE DES PAROIS LATÉRALES VERTICALE, L'AUTRE INCLINÉE À 45°).

EXPÉRIENCE N° 1.

Débit : 0^{mc},203. — Profondeur du courant : 0^{m},133. — Vitesse moyenne : 1^{m},406.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A LA PAROI DE GAUCHE.										
	0^{m},048	0^{m},148	0^{m},248	0^{m},348	0^{m},448	0^{m},548	0^{m},648	0^{m},748	0^{m},848	0^{m},948	1^{m},028
mèt.											
0,030	1,040	1,153	1,249	1,279	1,236	1,264	1,249	1,224	1,187	1,059	0,869
0,100	0,934	1,016	1,109	1,114	1,096	1,100	1,099	1,030	1,054	0,898	"

EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXI, fig. 5.)

Débit : 0^{mc},411. — Profondeur du courant : 0^{m},221. — Vitesse moyenne : 1^{m},771.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A LA PAROI DE GAUCHE.											
	0^{m},048	0^{m},148	0^{m},248	0^{m},348	0^{m},448	0^{m},548	0^{m},648	0^{m},748	0^{m},848	0^{m},948	1^{m},048	1^{m},098
mèt.												
0,033	0,962	1,084	1,156	1,217	1,234	1,228	1,233	1,238	1,195	1,113	0,968	0,806
0,093	0,942	1,052	1,140	1,196	1,191	1,151	1,156	1,167	1,184	1,087	0,787	"
0,173	0,855	0,888	1,003	1,019	1,019	1,010	1,010	1,037	1,034	0,912	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : 0^{mc},618. — Profondeur du courant : 0^{m},275. — Vitesse moyenne : 1^{m},992.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant	DISTANCES HORIZONTALES A LA PAROI DE GAUCHE.														
	0^{m},048	0^{m},148	0^{m},248	0^{m},348	0^{m},448	0^{m},548	0^{m},648	0^{m},748	0^{m},848	0^{m},948	0^{m},998	1^{m},048	1^{m},098	1^{m},148	1^{m},198
mèt.															
0,030	0,895	1,029	1,068	1,147	1,203	1,244	1,264	1,246	1,183	1,121	"	0,994	"	0,859	0,588
0,130	0,941	1,094	1,121	1,147	1,168	1,160	1,174	1,155	1,163	1,075	"	0,890	0,727	"	"
0,230	9,941	0,984	1,004	0,992	1,011	1,053	1,050	1,022	1,022	0,941	0,767	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4.

Débit : $0^{mc},824$. — Profondeur du courant : $0^{m},342$. — Vitesse moyenne : $2^{m},156$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A LA PAROI DE GAUCHE.														
	0m,048	0m,148	0m,248	0m,348	0m,448	0m,548	0m,648	0m,748	0m,848	0m,948	1m,028	1m,048	1m,128	1m,148	1m,228
mèt.															
0,040	0,900	1,017	1,064	1,123	1,168	1,215	1,246	1,226	1,178	1,111	"	1,023	"	0,910	0,714
0,130	0,914	1,065	1,095	1,133	1,180	1,202	1,217	1,215	1,181	1,095	"	0,978	0,806	"	"
0,220	0,928	0,994	0,996	1,048	1,101	1,120	1,125	1,102	1,107	1,029	0,860	"	"	"	"
0,310	0,824	0,842	0,842	0,850	0,890	0,910	0,912	0,928	0,962	0,846	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 5.

Débit : $1^{mc},030$. — Profondeur du courant : $0^{m},393$. — Vitesse moyenne : $2^{m},281$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A LA PAROI DE GAUCHE.																
	0m,048	0m,148	0m,248	0m,348	0m,448	0m,548	0m,648	0m,748	0m,848	0m,948	0m,998	1m,048	1m,098	1m,148	1m,198	1m,248	1m,298
mèt.																	
0,040	0,900	0,999	1,058	1,105	1,155	1,190	1,223	1,223	1,187	1,131	"	1,067	"	0,971	"	0,789	0,610
0,140	0,868	1,044	1,078	1,111	1,137	1,170	1,204	1,221	1,192	1,119	"	1,023	"	0,910	0,754	"	"
0,240	0,851	0,976	0,998	1,028	1,076	1,107	1,121	1,121	1,105	1,045	"	0,902	0,710	"	"	"	"
0,340	0,764	0,831	0,832	0,884	0,931	0,933	0,938	0,949	0,988	0,919	0,744	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 6. (Voir planche XXI, fig. 6.)

Débit : $1^{mc},236$. — Profondeur du courant : $0^{m},438$. — Vitesse moyenne : $2^{m},385$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A LA PAROI DE GAUCHE.																
	0m,048	0m,148	0m,248	0m,348	0m,448	0m,548	0m,648	0m,748	0m,848	0m,948	1m,028	1m,048	1m,228	1m,248	1m,328	1m,348	1m,428
mèt.																	
0,030	0,879	0,998	1,041	1,089	1,142	1,166	1,203	1,246	1,223	1,167	"	1,108	"	1,017	"	0,906	0,667
0,130	0,878	1,041	1,092	1,111	1,147	1,193	1,223	1,246	1,229	1,180	"	1,059	"	0,961	0,770	"	"
0,230	0,903	1,010	1,041	1,062	1,108	1,135	1,173	1,192	1,182	1,108	"	0,988	0,685	"	"	"	"
0,330	0,832	0,908	0,919	0,936	0,984	1,022	1,044	1,066	1,081	1,015	0,717	"	"	"	"	"	"

SÉRIE N° 70. (Voir série n° 23.)

(15, 16, 17 et 18 juin 1857.)

CANAL TRIANGULAIRE EN PLANCHES, PAROIS LATÉRALES INCLINÉES À 45°.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,50	0m,40	0m,30	0m,20	0m,10	0	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
EXPÉRIENCE N° 1.											
Débit : 0mc,203. — Profondeur du courant : 0m,380. — Vitesse moyenne : 1m,406.											
0,030	"	"	0,902	1,068	1,166	1,260	1,166	1,087	0,902	"	"
0,130	"	"	"	0,924	1,105	1,236	1,131	0,913	"	"	"
0,230	"	"	"	"	0,902	1,082	0,902	"	"	"	"
0,330	"	"	"	"	"	0,765	"	"	"	"	"
EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXI, fig. 7.)											
Débit : 0mc,411. — Profondeur du courant : 0m,489. — Vitesse moyenne : 1m,719.											
0,030	"	0,854	1,017	1,096	1,158	1,222	1,189	1,096	1,015	0,839	"
0,130	"	"	0,903	1,072	1,186	1,249	1,181	1,090	0,885	"	"
0,230	"	"	"	0,921	1,105	1,200	1,090	0,921	"	"	"
0,330	"	"	"	"	0,918	1,075	0,900	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	"	0,682	"	"	"	"	"
EXPÉRIENCE N° 3.											
Débit : 0mc,618. — Profondeur du courant : 0m,570. — Vitesse moyenne : 1m,922.											
0,030	0,757	0,944	1,036	1,129	1,186	1,224	1,199	1,138	1,072	0,933	0,706
0,130	"	0,837	1,028	1,131	1,215	1,257	1,228	1,143	1,033	0,805	"
0,230	"	"	0,853	1,031	1,148	1,228	1,138	1,025	0,899	"	"
0,330	"	"	"	0,853	1,071	1,124	1,028	0,795	"	"	"
0,430	"	"	"	"	0,795	0,996	0,764	"	"	"	"
0,530	"	"	"	"	"	0,614	"	"	"	"	"

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.														
	0m,70	0m,60	0m,50	0m,40	0m,30	0m,20	0m,10	0	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60	0m,70
	À GAUCHE.								À DROITE.						
mèt.															
EXPÉRIENCE N° 4.															
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,630. — Vitesse moyenne : 2m,084.															
0,030	"	"	0,874	0,978	1,050	1,118	1,173	1,211	1,187	1,136	1,064	0,978	0,863	"	"
0,130	"	"	"	0,990	1,045	1,129	1,197	1,232	1,207	1,146	1,060	0,939	"	"	"
0,230	"	"	"	"	0,958	1,063	1,173	1,210	1,156	1,060	0,946	"	"	"	"
0,330	"	"	"	"	"	0,977	1,082	1,156	1,064	0,978	"	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	"	"	0,986	1,049	0,981	"	"	"	"	"	"
0,530	"	"	"	"	"	"	"	0,912	"	"	"	"	"	"	"
EXPÉRIENCE N° 5.															
Débit : 1mc,030. — Profondeur du courant : 0m,686. — Vitesse moyenne : 2m,218.															
0,030	"	0,717	0,900	0,996	1,066	1,116	1,177	1,205	1,192	1,130	1,073	1,004	0,908	0,747	"
0,130	"	"	0,861	0,986	1,057	1,133	1,202	1,229	1,208	1,162	1,058	0,998	0,870	"	"
0,230	"	"	"	0,865	0,934	1,090	1,060	1,208	1,182	1,099	1,000	0,852	"	"	"
0,330	"	"	"	"	0,891	1,043	1,103	1,156	1,105	1,022	0,852	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	"	0,884	1,028	1,080	1,034	0,882	"	"	"	"	"
0,530	"	"	"	"	"	"	0,859	0,980	0,861	"	"	"	"	"	"
0,630	"	"	"	"	"	"	"	0,703	"	"	"	"	"	"	"
EXPÉRIENCE N° 6. (Voir planche XXI, fig. 8.)															
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,735. — Vitesse moyenne : 2m,294.															
0,030	"	0,815	0,944	1,029	1,050	1,132	1,177	1,200	1,190	1,137	1,099	1,029	0,963	0,855	0,511
0,130	"	"	0,930	1,000	1,068	1,137	1,204	1,222	1,207	1,160	1,099	1,013	0,960	0,595	"
0,230	"	"	0,688	0,889	1,023	1,096	1,163	1,206	1,172	1,115	1,027	0,916	0,666	"	"
0,330	"	"	"	0,652	0,950	1,046	1,140	1,179	1,152	1,062	0,942	0,660	"	"	"
0,430	"	"	"	"	0,677	0,960	1,036	1,091	1,035	0,934	0,660	"	"	"	"
0,530	"	"	"	"	"	0,663	0,961	1,041	0,957	0,651	"	"	"	"	"
0,630	"	"	"	"	"	"	0,649	0,848	0,611	"	"	"	"	"	"
0,655	"	"	"	"	"	"	"	0,758	"	"	"	"	"	"	"
0,690	"	"	"	"	"	"	"	0,481	"	"	"	"	"	"	"

SÉRIE N° 71. (Voir série n° 24.)

(2, 9, 10, 12, 13, 15, 16 et 17 octobre 1857.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT.

EXPÉRIENCE N° 1.

Débit : 0^{mc},203. — Profondeur du courant : 0^{m},268. — Vitesse moyenne : 1^{m},052.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0^{m},48	0^{m},40	0^{m},30	0^{m},20	0^{m},10	0	0^{m},10	0^{m},20	0^{m},30	0^{m},40	0^{m},48
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,038	0,595	1,014	1,153	1,220	1,241	1,220	1,234	1,210	1,176	0,960	0,595
0,088	"	0,863	"	"	"	"	"	"	"	0,852	"
0,138	"	"	1,098	1,145	1,145	1,153	1,130	1,121	1,031	"	"
0,205	"	"	"	0,996	"	"	"	1,014	"	"	"
0,233	"	"	"	"	0,950	"	0,940	"	"	"	"
0,238	"	"	"	"	"	0,969	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXII, fig. 1.)

Débit : 0^{mc},411. — Profondeur du courant : 0^{m},378. — Vitesse moyenne : 1^{m},300.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																
	0^{m},52	0^{m},50	0^{m},448	0^{m},40	0^{m},332	0^{m},30	0^{m},20	0^{m},10	0	0^{m},10	0^{m},20	0^{m},30	0^{m},332	0^{m},40	0^{m},448	0^{m},50	0^{m},52
	À GAUCHE.									À DROITE.							
mèt.																	
0,050	0,777	0,882	"	1,022	"	1,093	1,111	1,184	1,205	1,180	1,145	1,119	"	1,067	"	0,907	0,814
0,150	"	"	0,828	0,952	"	1,060	1,104	1,129	1,125	1,099	1,093	1,067	"	0,993	0,856	"	"
0,250	"	"	"	"	0,902	0,939	0,999	1,039	1,077	0,999	0,993	0,939	0,888	"	"	"	"
0,315	"	"	"	"	"	"	0,888	"	"	"	0,907	"	"	"	"	"	"
0,340	"	"	"	"	"	"	"	0,895	"	0,888	"	"	"	"	"	"	"
0,350	"	"	"	"	"	"	"	"	0,914	"	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : 0^{mc},618. — Profondeur du courant : 0^{m},456. — Vitesse moyenne : 1^{m},534.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.															
	0^{m},555	0^{m},50	0^{m},425	0^{m},40	0^{m},30	0^{m},20	0^{m},10	0	0^{m},10	0^{m},20	0^{m},30	0^{m},40	0^{m},425	0^{m},50	0^{m},555
	À GAUCHE.								À DROITE.						
mèt.															
0,050	0,885	1,000	"	1,100	1,137	1,162	1,183	1,165	1,140	1,115	1,096	1,061	"	0,940	0,812
0,150	"	0,913	"	1,045	1,100	1,151	1,165	1,126	1,126	1,115	1,092	1,053	"	0,894	"
0,250	"	"	0,885	"	1,012	1,069	1,072	1,076	1,065	1,021	1,000	"	0,871	"	"
0,350	"	"	"	"	0,866	0,961	1,012	1,021	0,983	0,945	0,885	"	"	"	"
0,395	"	"	"	"	"	0,890	"	"	"	0,842	"	"	"	"	"
0,420	"	"	"	"	"	"	0,861	"	0,847	"	"	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	"	"	"	0,822	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4.

Débit : $0^{mc},824$. — Profondeur du courant : $0^{m},523$. — Vitesse moyenne : $1^{m},676$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																		
	$0^{m},58$	$0^{m},545$	$0^{m},50$	$0^{m},485$	$0^{m},40$	$0^{m},30$	$0^{m},24$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},24$	$0^{m},30$	$0^{m},40$	$0^{m},485$	$0^{m},50$	$0^{m},545$	$0^{m},58$
	À GAUCHE.										À DROITE.								
mèt.																			
0,050	0,832	"	1,013	"	1,080	1,115	"	1,142	1,167	1,170	1,167	1,131	"	1,115	1,063	"	1,007	"	0,840
0,150	"	0,832	0,957	"	1,043	1,106	"	1,140	1,142	1,146	1,136	1,121	"	1,087	1,034	"	0,938	0,828	"
0,250	"	"	"	0,861	0,986	1,073	"	1,102	1,115	1,121	1,087	1,054	"	1,027	0,989	0,828	"	"	"
0,350	"	"	"	"	0,872	0,990	"	1,037	1,071	1,073	1,043	1,007	"	0,945	0,844	"	"	"	"
0,450	"	"	"		"	"	0,836	"	0,971	0,975	0,927	"	0,828	"	"	"	"	"	"
0,488	"	"	"	"	"	"	"	"	0,872	"	0,844	"	"	"	"	"	"	"	"
0,500	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,868	"	"	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 5.

Débit : $1^{mc},030$. — Profondeur du courant : $0^{m},588$. — Vitesse moyenne : $1^{m},782$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																	
	$0^{m},585$	$0^{m},56$	$0^{m},50$	$0^{m},40$	$0^{m},33$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},33$	$0^{m},40$	$0^{m},50$	$0^{m},56$	$0^{m},585$
	À GAUCHE.									À DROITE.							
mèt.																	
0,050	0,959	"	1,098	1,153	"	1,176	1,194	1,218	1,199	1,176	1,166	1,153	"	1,111	1,040	"	0,593
0,150	"	0,972	1,069	1,120	"	1,128	1,155	1,158	1,171	1,133	1,111	1,112	"	1,101	1,066	0,950	"
0,250	"	"	"	1,066	"	1,084	1,104	1,101	1,104	1,072	1,060	1,046	"	1,007	"	"	"
0,280	"	"	0,930	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,938	"	"
0,350	"	"	"	0,975	"	1,003	1,016	1,046	1,045	1,003	0,994	1,003	"	0,979	"	"	"
0,450	"	"	"	"	0,850	0,900	0,947	0,953	0,949	0,933	0,900	0,882	0,850	"	"	"	"
0,515	"	"	"	"	"	"	0,888	"	"	"	0,832	"	"	"	"	"	"
0,540	"	"	"	"	"	"	"	0,853	"	0,832	"	"	"	"	"	"	"
0,550	"	"	"	"	"	"	"	"	0,843	"	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 6. (Voir planche XXII, fig. 2.)

Débit : 1^{mc},133. — Profondeur du courant : 0^{m},662. — Vitesse moyenne : 1^{m},786.

		RAYON 0^{m},60.		RAYON 0^{m},575.		RAYON 0^{m},50.		RAYON 0^{m},40.		RAYON 0^{m},30.		RAYON 0^{m},20.		RAYON 0^{m},10.		CENTRE.	
		Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$
		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.	
CÔTÉ GAUCHE.	Ordonn.	0,05	0,873	0,05	1,014												
	Abscis.	0,60		0,575													
	Ordonn.	0,152	0,870	0,152	0,928	0,05	1,096										
	Abscis.	0,581		0,557		0,50											
	Ordonn.	0,263	0,837	0,263	0,945	0,152	1,101										
	Abscis.	0,54		0,515		0,475											
	Ordonn.	0,358	0,862	0,34	0,960	0,263	1,070	0,05	1,158								
	Abscis.	0,481		0,465		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,448	0,877	0,415	0,928	0,333	1,055	0,152	1,151	0,05	1,172						
	Abscis.	0,40		0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,52	0,826	0,492	0,918	0,40	1,011	0,263	1,115	0,152	1,151	0,05	1,161				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,566	0,815	0,540	0,901	0,457	1,007	0,345	1,035	0,223	1,129	0,121	1,134				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,592	0,785	0,566	0,887	0,49	0,951	0,387	1,007	0,283	1,090	0,173	1,120	0,05	1,141		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
AXE DU COURANT.	Ord.	0,60	0,777	0,575	0,862	0,50	0,901	0,40	0,983	0,30	1,032	0,20	1,087	0,10	1,145	0,05	1,140
	Abs.	0		0		0		0		0		0		0		0	
CÔTÉ DROIT.	Ordonn	0,592	0,788	0,566	0,887	0,49	0,9[illegible]2	0,387	0,995	0,283	1,073	0,173	1,110	0,05	1,142		
	Abscis.	0,10		0,1[illegible]		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
	Ordonn.	0,566	0,826	0,540	0,915	0,457	0,977	0,345	1,035	0,223	1,112	0,121	1,134				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,52	0,848	0,492	0,918	0,40	1,014	0,263	1,112	0,152	1,131	0,05	1,155				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,448	0,866	0,415	0,932	0,333	1,070	0,152	1,145	0,05	1,161						
	Abscis.	0,40		0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,358	0,859	0,34	0,960	0,263	1,070	0,05	1,141								
	Abscis.	0,481		0,465		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,263	0,866	0,263	0,948	0,152	1,058										
	Abscis.	0,54		0,515		0,475											
	Ordonn.	0,152	0,870	0,152	0,975	0,05	1,058										
	Abscis.	0,581		0,557		0,50											
	Ordonn.	0,05	0,845	0,05	0,977												
	Abscis.	0,60		0,575													

EXPÉRIENCE N° 7.

Débit : 1^{mc},133. — Profondeur du courant : 0^{m},662. — Vitesse moyenne : 1^{m},786.

		RAYON 0^{m},60.		RAYON 0^{m},575.		RAYON 0^{m},50.		RAYON 0^{m},40.		RAYON 0^{m},30.		RAYON 0^{m},20.		RAYON 0^{m},10.		CENTRE.	
		Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$
		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.	
CÔTÉ GAUCHE.	Ordonn.	0,05	0,873	0,05	0,973												
	Abscis.	0,60		0,575													
	Ordonn.	0,152	0,884	0,152	0,954	0,05	1,064										
	Abscis.	0,581		0,557		0,50											
	Ordonn.	0,263	0,873	0,263	0,948	0,152	1,070										
	Abscis.	0,54		0,515		0,475											
	Ordonn.	0,358	0,887	0,34	0,948	0,263	1,057	0,05	1,145								
	Abscis.	0,481		0,465		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,448	0,870	0,415	0,942	0,333	1,052	0,152	1,147	0,05	1,145						
	Abscis.	0,40		0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,52	0,890	0,492	0,938	0,4[illegible]	1,038	0,263	1,126	0,152	1,158	0,05	1,158				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,566	0,870	0,540	0,924	0,457	0,999	0,345	1,070	0,223	1,115	0,121	1,145				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,592	0,834	0,566	0,859	0,49	0,928	0,387	1,011	0,233	1,064	0,173	1,161	0,05	1,147		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
AXE DU COURANT.	Ord.	0,60	0,777	0,575	0,852	0,50	0,918	0,40	0,977	0,30	1,043	0,20	1,098	0,10	1,125	0,05	1,134
	Abs.	0		0		0		0		0		0		0		0	
CÔTÉ DROIT.	Ordonn.	0,592	0,841	0,566	0,848	0,49	0,942	0,387	1,001	0,283	1,061	0,173	1,101	0,05	1,131		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
	Ordonn.	0,566	0,866	0,540	0,916	0,457	1,001	0,345	1,067	0,223	1,112	0,121	1,140				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,52	0,870	0,492	0,935	0,40	1,040	0,263	1,126	0,152	1,145	0,05	1,147				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,448	0,877	0,415	0,931	0,333	1,052	0,152	1,150	0,05	1,145						
	Abscis.	0,40		0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,358	0,877	0,34	0,951	0,263	1,035	0,05	1,115								
	Abscis.	0,481		0,465		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,263	0,870	0,263	0,942	0,152	1,047										
	Abscis.	0,54		0,515		0,475											
	Ordonn.	0,152	0,877	0,152	0,911	0,05	1,057										
	Abscis.	0,581		0,557		0,50											
	Ordonn.	0,05	0,859	0,05	0,979												
	Abscis.	0,60		0,575													

EXPÉRIENCE N° 8.

Débit : 1^{mc},133. — Profondeur du courant : 0^{m},632. — Vitesse moyenne : 1^{m},810.

		Rayon 0^{m},60.		Rayon 0^{m},575.		Rayon 0^{m},50		Rayon 0^{m},40.		Rayon 0^{m},30.		Rayon 0^{m},20.		Rayon 0^{m},10.		Centre.	
		Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$
		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.	
Côté gauche.	Ordonn.	0,05	0,865	0,05	0,964												
	Abscis.	0,60		0,575													
	Ordonn.	0,152	0,865	0,152	0,966	0,05	1,081										
	Abscis.	0,581		0,557		0,50											
	Ordonn.	0,263	0,868	0,263	0,954	0,152	1,078										
	Abscis.	0,54		0,515		0,475											
	Ordonn.	0,358	0,868	0,34	0,954	0,263	1,078	0,05	1,142								
	Abscis.	0,481		0,465		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,448	0,854	0,415	0,925	0,333	1,047	0,152	1,135	0,05	1,174						
	Abscis.	0,40		0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,52	0,837	0,492	0,858	0,40	1,012	0,263	1,094	0,152	1,148	0,05	1,196				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,566	0,808	0,540	0,837	0,457	0,985	0,345	1,047	0,223	1,113	0,121	1,157				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,592	0,800	0,566	0,830	0,49	0,951	0,387	0,982	0,283	1,072	0,173	1,132	0,05	1,204		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
Axe du courant.	Ord.	0,60	0,768	0,575	0,822	0,50	0,947	0,40	1,033	0,30	1,063	0,20	1,113	0,10	1,204	0,05	1,213
	Abs.	0		0		0		0		0		0		0		0	
Côté droit.	Ordonn.	0,592	0,793	0,566	0,833	0,49	0,957	0,387	0,988	0,283	1,083	0,173	1,140	0,05	1,208		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
	Ordonn.	0,566	0,811	0,540	0,837	0,457	0,985	0,345	1,044	0,223	1,116	0,121	1,161				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,52	0,830	0,492	0,861	0,40	1,027	0,263	1,100	0,152	1,163	0,05	1,196				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,448	0,858	0,415	0,922	0,333	1,055	0,152	1,140	0,05	1,171						
	Abscis.	0,40		0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,358	0,878	0,34	0,947	0,263	1,072	0,05	1,138								
	Abscis.	0,481		0,465		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,263	0,875	0,263	0,957	0,152	1,075										
	Abscis.	0,54		0,515		0,475											
	Ordonn.	0,152	0,872	0,152	0,970	0,05	1,081										
	Abscis.	0,581		0,557		0,50											
	Ordonn.	0,05	0,865	0,05	0,966												
	Abscis.	0,60		0,575													

SÉRIE N° 72. (Voir série n° 25.)

(16, 17, 18 et 19 septembre 1857.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT MÉLANGÉ D'UN TIERS DE SABLE SILICEUX TRÈS-FIN.

EXPÉRIENCE N° 1.

Débit : $0^{mc},203$. — Profondeur du courant : $0^{m},292$. — Vitesse moyenne : $0^{m},964$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	$0^{m},45$	$0^{m},40$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},40$	$0^{m},45$
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,057	0,844	1,006	1,119	1,157	1,183	1,183	1,176	1,165	1,128	1,027	0,844
0,157	"	"	0,974	1,038	1,048	1,059	1,048	1,069	0,974	"	"
0,217	"	"	"	0,929	"	"	"	0,894	"	"	"
0,257	"	"	"	"	0,881	0,905	0,830	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXII, fig. 3.)

Débit : $0^{mc},411$. — Profondeur du courant : $0^{m},388$. — Vitesse moyenne : $1^{m},266$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	$0^{m},50$	$0^{m},47$	$0^{m},40$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},40$	$0^{m},47$	$0^{m},50$
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
0,048	0,959	"	1,100	1,155	1,190	1,201	1,191	1,165	1,134	1,128	1,067	"	0,913
0,118	"	0,906	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,913	"
0,148	"	"	1,008	1,055	1,111	1,122	1,106	1,089	1,061	1,055	0,990	"	"
0,198	"	"	0,899	"	"	"	"	"	"	"	0,913	"	"
0,248	"	"	"	0,946	1,001	1,044	0,996	0,984	0,952	0,939	"	"	"
0,318	"	"	"	"	0,892	"	"	"	0,864	"	"	"	"
0,348	"	"	"	"	"	0,857	0,913	0,864	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : $0^{mc},618$. — Profondeur du courant : $0^{m},488$. — Vitesse moyenne : $1^{m},392$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.														
	À GAUCHE.							O	À DROITE.						
	$0^{m},555$	$0^{m},50$	$0^{m},44$	$0^{m},40$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$		$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},40$	$0^{m},44$	$0^{m},50$	$0^{m},555$
mèt.															
0,050	0,871	0,991	»	1,050	1,102	1,164	1,195	1,182	1,164	1,106	1,070	1,021	»	0,927	0,842
0,150	»	0,900	»	1,065	1,129	1,182	1,151	1,147	1,106	1,070	1,041	0,991	»	0,766	»
0,250	»	»	0,900	0,975	1,070	1,129	1,127	1,070	1,045	0,996	0,986	0,911	0,842	»	»
0,290	»	»	»	0,938	»	»	»	»	»	»	»	0,883	»	»	»
0,350	»	»	»	»	0,917	1,016	1,045	1,001	0,970	0,927	0,877	»	»	»	»
0,410	»	»	»	»	»	0,927	»	»	»	0,342	»	»	»	»	»
0,450	»	»	»	»	»	»	0,894	0,889	0,866	»	»	»	»	»	»

EXPÉRIENCE N° 4.

Débit : $0^{mc},824$. — Profondeur du courant : $0^{m},554$. — Vitesse moyenne : $1^{m},569$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.														
	À GAUCHE.							O	À DROITE.						
	$0^{m},60$	$0^{m},55$	$0^{m},50$	$0^{m},40$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$		$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},40$	$0^{m},50$	$0^{m},55$	$0^{m},60$
mèt.															
0,030	0,752	»	0,961	1,034	1,080	1,126	1,150	1,123	1,097	1,097	1,060	0,990	0,953	»	0,650
0,130	»	0,847	0,978	1,052	1,115	1,132	1,150	1,108	1,086	1,082	1,064	1,037	0,945	0,774	»
0,230	»	»	0,893	1,006	1,052	1,097	1,105	1,076	1,064	1,030	1,006	0,970	0,866	»	»
0,330	»	»	»	0,910	0,986	1,022	1,042	1,014	1,010	0,958	0,949	0,875	»	»	»
0,430	»	»	»	»	0,862	0,961	0,986	0,982	0,953	0,893	0,804	»	»	»	»
0,530	»	»	»	»	»	»	0,774	0,804	0,752	»	»	»	»	»	»

EXPÉRIENCE N° 5. (Voir planche XXII, fig. 4.)
Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},625. — Vitesse moyenne : 1^{m},679.

		RAYON 0^{m},60.		RAYON 0^{m},50.		RAYON 0^{m},40.		RAYON 0^{m},30.		RAYON 0^{m},20.		RAYON 0^{m},10.		CENTRE.	
		Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$
		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.	
CÔTÉ GAUCHE.	Ordonn.	0,05	0,826												
	Abscis.	0,60													
	Ordonn.	0,152	0,770	0,[illegible]5	0,987										
	Abscis.	0,58		0,50											
	Ordonn.	0,263	0,783	0,152	0,974										
	Abscis.	0,54		0,475											
	Ordonn.	0,358	0,778	0,263	0,977	0,05	1,058								
	Abscis.	0,481		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,448	0,787	0,333	0,977	0,152	1,[illegible]65	0,05	1,071						
	Abscis.	0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,52	0,783	0,40	0,974	0,263	1,041	0,152	1,094	0,05	1,110				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,566	0,796	0,457	0,980	0,345	1,039	0,223	1,107	0,121	1,134				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,592	0,770	0,49	0,977	0,387	1,032	0,283	1,078	0,173	1,134	0,05	1,137		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
AXE DU COURANT.	Ord.	0,60	0,770	0,50	0,980	0,40	1,032	0,30	1,081	0,20	1,131	0,10	1,143	0,05	1,191
	Abs.	0		0		0		0		0		0		0	
CÔTÉ DROIT.	Ordonn.	0,592	0,770	0,49	0,959	0,387	1,021	0,283	1,078	0,173	1,107	0,05	1,131		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
	Ordonn.	0,566	0,770	0,457	0,966	0,345	1,021	0,223	1,091	0,121	1,116				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,159					
	Ordonn.	0,52	0,770	0,40	0,962	0,263	1,035	0,152	1,078	0,05	1,101				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,258		0,20					
	Ordonn.	0,448	0,778	0,333	0,959	0,152	1,039	0,05	1,071						
	Abscis.	0,40		0,372		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,358	0,756	0,263	0,974	0,05	1,025								
	Abscis.	0,481		0,424		0,40									
	Ordonn.	0,263	0,756	0,152	0,974										
	Abscis.	0,54		0,475											
	Ordonn.	0,152	0,778	0,05	0,980										
	Abscis.	0,58		0,50											
	Ordonn.	0,05	0,787												
	Abscis.	0,60													

SÉRIE N° 73. (Voir série n° 26.)

(18, 19, 24 et 25 mars 1858.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN PLANCHES.

EXPÉRIENCE N° 1.

Débit : $0^{mc},213$. — Profondeur du courant : $0^{m},270$. — Vitesse moyenne : $0^{m},966$.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.										
	$0^{m},475$	$0^{m},40$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},40$	$0^{m},475$
	à gauche.						à droite.				
mèt.											
0,030	0,882	1,025	1,151	1,204	1,230	1,230	1,204	1,168	1,132	0,994	0,859
0,100	"	0,929	"	"	"	"	"	"	"	0,917	"
0,130	"	"	1,025	1,045	1,123	1,123	1,095	1,055	1,045	"	"
0,165	"	"	0,905	"	"	"	"	"	0,905	"	"
0,205	"	"	"	0,940	"	"	"	0,929	"	"	"
0,230	"	"	"	"	0,917	0,929	0,882	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 2. (Voir planche XXII, fig. 5.)

Débit : $0^{mc},411$. — Profondeur du courant : $0^{m},377$. — Vitesse moyenne : $1^{m},230$.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.																	
	$0^{m},55$	$0^{m},50$	$0^{m},47$	$0^{m},40$	$0^{m},35$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},35$	$0^{m},40$	$0^{m},47$	$0^{m},50$	$0^{m},55$
	à gauche.									à droite.							
mèt.																	
0,030	0,875	0,986	"	1,092	"	1,177	1,226	1,226	1,231	1,199	1,160	1,128	"	1,050	"	0,933	0,845
0,100	"	0,939	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,925	"
0,130	"	"	0,958	1,030	"	1,062	1,115	1,144	1,155	1,056	1,080	1,080	"	1,037	0,918	"	"
0,195	"	"	"	0,946	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,925	"	"	"
0,230	"	"	"	"	0,925	0,959	1,025	1,062	1,043	0,999	0,958	0,939	0,925	"	"	"	"
0,260	"	"	"	"	"	0,939	"	"	"	"	"	0,918	"	"	"	"	"
0,300	"	"	"	"	"	"	0,918	"	"	"	0,852	"	"	"	"	"	"
0,330	"	"	"	"	"	"	"	0,939	0,939	0,912	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : $0^{mc},824$. — Profondeur du courant : $0^{m},554$. — Vitesse moyenne : $1^{m},450$.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.																				
	$0^{m},64$	$0^{m},60$	$0^{m},55$	$0^{m},50$	$0^{m},465$	$0^{m},40$	$0^{m},337$	$0^{m},30$	$0^{m},20$	$0^{m},10$	0	$0^{m},10$	$0^{m},20$	$0^{m},30$	$0^{m},337$	$0^{m},40$	$0^{m},465$	$0^{m},50$	$0^{m},55$	$0^{m},60$	$0^{m},64$
	à gauche.											à droite.									
mèt.																					
0,030	0,814	0,917	"	1,004	"	1,073	"	1,135	1,171	1,199	1,195	1,143	1,122	1,075	"	1,036	"	0,957	"	0,881	0,792
0,130	"	0,859	"	1,017	"	1,080	"	1,160	1,203	1,218	1,203	1,164	1,122	1,110	"	1,097	"	1,012	"	0,814	"
0,230	"	"	0,809	0,937	"	1,031	"	1,110	1,164	1,203	1,151	1,114	1,045	1,040	"	1,017	"	0,937	0,814	"	"
0,295	"	"	"	0,809	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,809	"	"	"
0,330	"	"	"	"	0,809	0,926	"	0,980	1,072	1,122	1,085	1,031	0,971	0,951	"	0,932	0,814	"	"	"	"
0,395	"	"	"	"	"	0,809	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,806	"	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	"	"	0,814	0,922	0,975	1,037	1,017	0,985	0,870	0,843	0,814	"	"	"	"	"	"
0,487	"	"	"	"	"	"	"	"	0,826	"	"	"	0,814	"	"	"	"	"	"	"	"
0,520	"	"	"	"	"	"	"	"	"	0,814	0,826	0,809	"	"	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4. (Voir planche XXII, fig. 6.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},704. — Vitesse moyenne : 1^{m},612.

		RAYON 0^{m},67.		RAYON 0^{m},60.		RAYON 0^{m},50.		RAYON 0^{m},40.		RAYON 0^{m},30.		RAYON 0^{m},20.		RAYON 0^{m},10.		CENTRE.	
		Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$
		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.	
CÔTÉ GAUCHE.	Ordonn.	0,05	0,851														
	Abscis.	0,67															
	Ordonn.	0,16	0,833	0,05	1,010												
	Abscis.	0,652		0,60													
	Ordonn.	0,268	0,838	0,16	0,990	0,05	1,075										
	Abscis.	0,615		0,58		0,50											
	Ordonn.	0,37	0,833	0,268	0,982	0,16	1,100										
	Abscis.	0,56		0,537		0,474											
	Ordonn.	0,449	0,829	0,37	0,964	0,268	1,075	0,05	1,113								
	Abscis.	0,50		0,474		0,423		0,40									
	Ordonn.	0,536	0,820	0,449	0,952	0,336	1,064	0,16	1,160	0,05	1,136						
	Abscis.	0,40		0,40		0,368		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,60	0,833	0,518	0,952	0,40	1,061	0,268	1,126	0,16	1,191	0,05	1,165				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,255		0,20					
	Ordonn.	0,64	0,820	0,565	0,960	0,457	1,075	0,345	1,143	0,224	1,198	0,12	1,171				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,16					
	Ordonn.	0,665	0,829	0,592	0,982	0,488	1,075	0,387	1,136	0,284	1,179	0,175	1,171	0,05	1,179		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
AXE DU COURANT.	Ord.	0,67	0,801	0,60	0,964	0,50	1,043	0,40	1,082	0,30	1,143	0,20	1,163	0,10	1,179	0,05	1,182
	Abs.	0		0		0		0		0		0		0		0	
CÔTÉ DROIT.	Ordonn.	0,665	0,732	0,592	0,932	0,488	1,032	0,387	1,061	0,284	1,113	0,175	1,160	0,05	1,176		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10			
	Ordonn.	0,64	0,690	0,565	0,886	0,457	1,035	0,345	1,053	0,224	1,140	0,12	1,165				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,16					
	Ordonn.	0,60	0,810	0,518	0,936	0,40	1,032	0,268	1,113	0,16	1,163	0,05	1,165				
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,255		0,20					
	Ordonn.	0,536	0,824	0,449	0,967	0,336	1,047	0,16	1,153	0,05	1,136						
	Abscis.	0,40		0,40		0,368		0,368		0,30							
	Ordonn.	0,449	0,829	0,37	0,972	0,268	1,082	0,05	1,109								
	Abscis.	0,50		0,474		0,423		0,40									
	Ordonn.	0,37	0,833	0,268	0,994	0,16	1,116										
	Abscis.	0,56		0,537		0,474											
	Ordonn.	0,268	0,829	0,16	1,006	0,05	1,078										
	Abscis.	0,615		0,58		0,50											
	Ordonn.	0,16	0,833	0,05	1,017												
	Abscis.	0,652		0,60													
	Ordonn.	0,05	0,847														
	Abscis.	0,67															

SÉRIE N° 74. (Voir série n° 27.)

(27 octobre, 2, 3 et 4 novembre 1858.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER.

EXPÉRIENCE N° 1. (Voir pl. XXII, fig. 7.)

Débit : 0^{mc},203. — Profondeur du courant : 0^{m},322. — Vitesse moyenne : 0^{m},825.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0^{m},180	0^{m},40	0^{m},30	0^{m},23	0^{m},20	0^{m},10	0	0^{m},10	0^{m},20	0^{m},23	0^{m},30	0^{m},40	0^{m},480
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
0,050	0,588	0,930	1,073	"	1,164	1,259	1,293	1,247	1,164	"	1,018	0,930	0,537
0,150	"	0,679	0,976	"	1,110	1,212	1,259	1,212	1,100	"	0,960	0,635	"
0,215	"	"	0,679	"	"	"	"	"	"	"	0,657	"	"
0,250	"	"	"	0,740	"	1,005	1,087	1,033	"	0,740	"	"	"
0,300	"	"	"	"	"	0,759	0,778	0,778	"	"	"	"	-

EXPÉRIENCE N° 2.

Débit : 0^{mc},411. — Profondeur du courant : 0^{m},458. — Vitesse moyenne : 1^{m},028.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																		
	0^{m},555	0^{m},51	0^{m},50	0^{m},435	0^{m},40	0^{m},32	0^{m},30	0^{m},20	0^{m},10	0	0^{m},10	0^{m},20	0^{m},30	0^{m},32	0^{m},40	0^{m},435	0^{m},50	0^{m},51	0^{m},555
	À GAUCHE.										À DROITE.								
mèt.																			
0,030	0,609	"	0,746	"	0,893	"	1,001	1,056	1,143	1,164	1,116	1,090	1,010	"	0,914	"	0,746	"	0,609
0,130	"	0,733	"	"	1,001	"	1,090	1,210	1,219	1,227	1,210	1,203	1,107	"	0,953	"	"	0,639	"
0,230	"	"	"	0,758	0,914	"	1,001	1,107	1,172	1,210	1,180	1,107	0,982	"	0,817	0,746	"	"	"
0,330	"	"	"	"	"	0,770	"	1,010	1,082	1,090	1,055	1,019	"	0,770	"	"	"	"	"
0,395	"	"	"	"	"	"	"	0,828	"	"	"	0,817	"	"	"	"	"	"	"
0,430	"	"	"	"	"	"	"	"	0,794	0,806	0,806	"	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : 0^{mc},618. — Profondeur du courant : 0^{m},567. — Vitesse moyenne : 1^{m},162.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																		
	0^{m},57	0^{m},55	0^{m},50	0^{m},44	0^{m},40	0^{m},33	0^{m},30	0^{m},20	0^{m},10	0	0^{m},10	0^{m},20	0^{m},30	0^{m},33	0^{m},40	0^{m},44	0^{m},50	0^{m},55	0^{m},57
	À GAUCHE.										À DROITE.								
mèt.																			
0,040	0,723	"	0,843	"	0,994	"	1,058	1,105	1,175	1,181	1,175	1,105	1,044	"	0,994	"	0,926	"	0,723
0,140	"	0,671	0,817	"	1,044	"	1,150	1,187	1,229	1,223	1,211	1,200	1,175	"	1,058	"	0,852	0,671	"
0,240	"	"	0,693	"	0,972	"	1,124	1,156	1,217	1,217	1,206	1,169	1,118	"	0,941	"	0,682	"	"
0,340	"	"	"	0,682	"	"	1,009	1,098	1,137	1,163	1,118	1,091	0,994	"	"	0,703	"	"	"
0,440	"	"	"	"	"	0,713	"	0,918	1,015	1,044	1,002	0,934	"	0,733	"	"	"	"	"
0,505	"	"	"	"	"	"	"	0,703	"	"	"	0,723	"	"	"	"	"	"	"
0,540	"	"	"	"	"	"	"	"	0,693	0,733	0,723	"	"	"	"	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4. (Voir pl. XXII, fig. 8.)

Débit : $0^{mc},721$ — Profondeur du courant : $0^{m},616$. — Vitesse moyenne : $1^{m},229$.

		Rayon $0^{m},585$.		Rayon $0^{m},56$.		Rayon $0^{m},50$.		Rayon $0^{m},40$.		Rayon $0^{m},30$.		Rayon $0^{m},25$.		Rayon $0^{m},20$.		Rayon $0^{m},15$.		Rayon $0^{m},10$.		Centre.	
		Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$	Coordonnées des points.	Rapports $\frac{V}{U}$
		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.		mèt.	
Côté gauche.	Ordonn.	0,05	0,635	0,05	0,765																
	Abscis.	0,585		0,560																	
	Ordonn.	0,152	0,615	0,152	0,789	0,05	0,868														
	Abscis.	0,564		0,538		0,50															
	Ordonn.	0,263	0,665	0,249	0,781	0,152	0,897														
	Abscis.	0,522		0,50		0,476															
	Ordonn.	0,35	0,675	0,335	0,781	0,263	0,926	0,05	0,981												
	Abscis.	0,468		0,447		0,424		0,40													
	Ordonn.	0,426	0,665	0,41	0,789	0,333	0,919	0,152	1,075	0,05	1,050										
	Abscis.	0,40		0,38		0,372		0,370		0,30											
	Ordonn.	0,50	0,663	0,471	0,781	0,40	0,919	0,263	1,099	0,152	1,145	0,05	1,105	0,05	1,105						
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,259		0,25		0,20							
	Ordonn.	0,55	0,691	0,522	0,814	0,458	0,947	0,345	1,111	0,223	1,179	0,15	1,179	0,121	1,179	0,05	1,116				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,10		0,20		0,159		0,15					
	Ordonn.	0,576	0,721	0,55	0,814	0,49	0,926	0,387	1,105	0,283	1,179	0,228	1,190	0,173	1,206	0,122	1,173	0,05	1,150		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,086		0,086			
Axe du courant.	Ord.	0,585	0,712	0,56	0,821	0,50	0,960	0,40	1,134	0,30	1,194	0,25	1,200	0,20	1,227	0,15	1,190	0,10	1,179	0,05	1,179
	Abs.	0		0		0		0		0		0		0		0		0		0	
Côté droit.	Ordonn.	0,576	0,739	0,55	0,821	0,49	0,947	0,387	1,122	0,283	1,179	0,228	1,184	0,173	1,222	0,122	1,168	0,05	1,162		
	Abscis.	0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,10		0,086		0,086			
	Ordonn.	0,55	0,702	0,522	0,821	0,458	0,941	0,345	1,134	0,223	1,179	0,15	1,184	0,121	1,184	0,05	1,140				
	Abscis.	0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,20		0,159		0,15					
	Ordonn.	0,50	0,665	0,471	0,789	0,40	0,933	0,263	1,093	0,152	1,145	0,05	1,105	0,05	1,111						
	Abscis.	0,30		0,30		0,30		0,30		0,259		0,25		0,20							
	Ordonn.	0,426	0,693	0,41	0,789	0,333	0,919	0,152	1,075	0,05	1,060										
	Abscis.	0,40		0,38		0,372		0,37		0,30											
	Ordonn.	0,35	0,665	0,335	0,781	0,263	0,947	0,05	0,974												
	Abscis.	0,468		0,447		0,424		0,40													
	Ordonn.	0,263	0,644	0,249	0,789	0,152	0,919														
	Abscis.	0,522		0,50		0,476															
	Ordonn.	0,152	0,655	0,152	0,765	0,05	0,868														
	Abscis.	0,564		0,538		0,50															
	Ordonn.	0,05	0,635	0,05	0,756																
	Abscis.	0,585		0,560																	

SÉRIE N° 75. (Voir série n° 39.)

(4, 9, 11 et 12 août 1859.)

RIGOLE MURÉE DU TILLOT.

EXPÉRIENCE N° 1.

Débit : $0^{mc},326$. — Profondeur du courant : $0^{m},150$. — Vitesse moyenne : $1^{m},824$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	$0^{m},60$	$0^{m},57$	$0^{m},50$	$0^{m},40$	$0^{m},20$	0	$0^{m},20$	$0^{m},40$	$0^{m},50$	$0^{m},57$	$0^{m},60$
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,030	0,748	0,883	1,003	1,101	1,214	1,206	1,184	1,058	0,971	0,852	0,734
0,080	"	0,882	0,971	1,086	1,151	1,121	1,121	1,001	0,925	0,827	"
0,120	"	0,787	0,801	0,918	1,019	0,986	0,950	0,852	0,768	0,724	"

EXPÉRIENCE N° 2. (Voir pl. XXIII, fig. 1.)

Débit : $0^{mc},671$. — Profondeur du courant : $0^{m},234$. — Vitesse moyenne : $2^{m},352$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	$0^{m},593$	$0^{m},58$	$0^{m},57$	$0^{m},50$	$0^{m},40$	$0^{m},20$	0	$0^{m},20$	$0^{m},40$	$0^{m},50$	$0^{m},57$	$0^{m},58$	$0^{m},593$
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
0,030	0,812	"	"	0,971	1,053	1,193	1,253	1,172	1,020	0,938	"	"	0,781
0,130	"	0,774	"	1,005	1,039	1,147	1,193	1,128	1,005	0,978	"	0,729	"
0,204	"	"	0,717	0,819	0,881	0,953	0,985	0,919	0,779	0,765	0,671	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : $0^{mc},939$. — Profondeur du courant : $0^{m},291$. — Vitesse moyenne : $2^{m},560$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.													
	$0^{m},60$	$0^{m},588$	$0^{m},578$	$0^{m},57$	$0^{m},50$	$0^{m},40$	$0^{m},20$	0	$0^{m},20$	$0^{m},40$	$0^{m},50$	$0^{m},57$	$0^{m},578$	$0^{m},588$	$0^{m},60$
	À GAUCHE.								À DROITE.						
mèt. 0,030	0,768	"	"	0,856	0,976	1,057	1,182	1,249	1,164	1,033	0,949	0,807	"	"	0,734
0,130	"	0,787	"	0,872	1,015	1,066	1,174	1,223	1,145	1,037	0,982	0,841	"	0,746	"
0,210	"	"	0,766	"	0,938	0,968	1,080	1,117	1,058	0,948	0,927	"	0,742	"	"
0,261	"	"	"	0,663	0,764	0,772	0,912	0,938	0,882	0,734	0,726	0,619	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4. (Voir pl. XXIII, fig. 2.)

Débit : $1^{mc},205$. — Profondeur du courant : $0^{m},358$. — Vitesse moyenne : $2^{m},707$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.													
	$0^{m},604$	$0^{m},59$	$0^{m},58$	$0^{m},57$	$0^{m},50$	$0^{m},40$	$0^{m},20$	0	$0^{m},20$	$0^{m},40$	$0^{m},50$	$0^{m},57$	$0^{m},58$	$0^{m},59$	$0^{m},604$
	À GAUCHE.								À DROITE.						
mèt. 0,030	0,759	"	"	0,862	0,964	1,060	1,153	1,228	1,142	1,050	0,943	0,844	"	"	0,724
0,150	"	0,796	"	0,881	1,031	1,097	1,187	1,217	1,154	1,066	0,986	0,830	"	0,748	"
0,258	"	"	0,828	"	0,945	0,960	1,078	1,120	1,068	0,937	0,923	"	0,803	"	"
0,328	"	"	"	0,686	0,760	0,778	0,872	0,905	0,847	0,752	0,739	0,675	"	"	"

SÉRIE N° 76. (Voir série n° 42.)

(26, 27, 28 et 29 juin 1861.)

RIGOLE MURÉE DU ROUSSOT.

EXPÉRIENCE N° 1. (Voir pl. XXIII, fig. 3.)

Débit : $0^{mc},297$. — Profondeur du courant : $0^{m},464$. — Vitesse moyenne : $0^{m},266$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.													
	À GAUCHE.								O	À DROITE.				
	$1^{m},40$	$1^{m},30$	$1^{m},25$	$1^{m},20$	$1^{m},10$	$0^{m},90$	$0^{m},60$	$0^{m},30$		$0^{m},30$	$0^{m},60$	$0^{m},80$	$1^{m},00$	$1^{m},06$
mèt.														
0,053	0,594	0,695	"	0,748	0,835	0,928	1,086	1,203	1,316	1,432	1,534	1,394	1,203	0,962
0,203	"	"	0,556	0,613	0,793	0,921	1,011	1,098	1,225	1,316	1,458	1,432	1,305	1,052
0,303	"	"	"	"	0,594	0,868	0,947	1,034	1,048	1,252	1,176	1,241	1,165	0,868
0,353	"	"	"	"	0,361	0,740	0,647	0,781	0,966	1,038	1,090	0,955	0,947	0,805

EXPÉRIENCE N° 2.

Débit : $0^{mc},610$. — Profondeur du courant : $0^{m},623$. — Vitesse moyenne : $0^{m},391$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.													
	À GAUCHE.								O	À DROITE.				
	$1^{m},60$	$1^{m},50$	$1^{m},40$	$1^{m},30$	$1^{m},20$	$1^{m},10$	$0^{m},90$	$0^{m},60$	$0^{m},30$	$0^{m},30$	$0^{m},60$	$0^{m},80$	$1^{m},00$	$1^{m},06$
mèt.														
0,053	0,455	0,540	0,544	0,634	0,673	0,723	0,757	0,870	0,982	1,113	1,383	1,478	1,437	1,225	0,951
0,178	"	0,384	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
0,203	"	"	0,462	0,581	0,690	0,790	0,818	0,939	1,025	1,148	1,332	1,486	1,485	1,350	1,159
0,303	"	"	"	0,545	0,705	0,801	0,920	1,043	1,148	1,253	1,366	1,460	1,465	1,263	0,928
0,403	"	"	"	"	0,558	0,705	0,818	0,967	1,094	1,243	1,322	1,340	1,355	1,182	1,008
0,503	"	"	"	"	"	0,411	0,645	0,818	0,905	1,043	1,084	1,056	1,015	0,992	0,834

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : $0^{mc},890$. — Profondeur du courant : $0^{m},746$. — Vitesse moyenne : $0^{m},461$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.															
	À GAUCHE.											À DROITE.				
	1m,75	1m,70	1m,60	1m,50	1m,40	1m,30	1m,10	0m,90	0m,60	0m,30	0	0m,30	0m,60	0m,80	1m,00	1m,05
mèt.																
0,053	0,325	0,458	0,524	0,560	0,620	0,627	0,731	0,744	0,863	1,054	0,996	1,238	1,423	1,405	1,195	1,108
0,203	"	"	0,349	0,518	0,664	0,715	0,811	0,848	0,965	1,069	1,137	1,308	1,453	1,497	1,290	1,239
0,353	"	"	"	"	0,520	0,664	0,863	0,974	1,091	1,187	1,247	1,395	1,481	1,505	1,364	1,143
0,453	"	"	"	"	"	0,570	0,842	0,952	1,052	1,187	1,284	1,321	1,386	1,445	1,260	1,043
0,553	"	"	"	"	"	"	0,722	0,885	0,965	1,106	1,217	1,216	1,200	1,284	1,232	1,033
0,630	"	"	"	"	"	"	0,442	"	"	"	"	"	"	1,136	0,907	0,843
0,653	"	"	"	"	"	"	"	0,649	0,685	0,889	0,911	0,848	0,829	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4. (Voir pl. XXIII, fig. 4.)

Débit : $1^{mc},132$. — Profondeur du courant : $0^{m},835$. — Vitesse moyenne : $0^{m},513$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.															
	À GAUCHE.											À DROITE.				
	1m,75	1m,70	1m,60	1m,50	1m,40	1m,30	1m,20	1m,10	0m,90	0m,60	0m,30	0	0m,30	0m,60	0m,80	1m,00	1m,05
mèt.																
0,053	0,478	0,561	0,563	0,602	"	0,653	"	0,702	0,742	0,815	0,908	1,047	1,272	1,392	1,391	1,187	1,113
0,130	"	0,491	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
0,203	"	"	0,444	0,577	"	0,690	"	0,789	0,840	0,934	1,056	1,154	1,286	1,452	1,472	1,364	1,197
0,280	"	"	0,384	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
0,353	"	"	"	0,467	0,587	0,701	"	0,813	0,955	1,021	1,127	1,231	1,365	1,405	1,464	1,325	1,199
0,503	"	"	"	"	"	0,680	0,743	0,834	0,988	1,074	1,220	1,199	1,329	1,435	1,434	1,298	1,092
0,603	"	"	"	"	"	"	0,693	0,823	0,888	1,000	1,133	1,206	1,187	1,287	1,364	1,244	0,988
0,703	"	"	"	"	"	"	"	0,581	0,773	0,888	0,949	1,008	1,007	1,041	1,081	1,007	0,842

SÉRIE N° 77. (Voir SÉRIE n° 44.)

(3, 4, 5 et 6 juillet 1861.)

RIGOLE MURÉE DE GROSBOIS.

EXPÉRIENCE N° 1. (Voir pl. XXIII, fig. 5.)

Débit : $0^{mc},304$. — Profondeur du courant : $0^{m},663$. — Vitesse moyenne : $0^{m},253$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	$0^{m},95$	$0^{m},90$	$0^{m},70$	$0^{m},50$	$0^{m},30$	0	$0^{m},30$	$0^{m},50$	$0^{m},70$	$0^{m},90$	$0^{m},95$
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,053	0,723	0,779	1,019	1,134	1,245	1,237	1,119	1,007	0,913	0,755	0,652
0,203	0,810	0,877	1,130	1,237	1,300	1,336	1,225	1,107	1,011	0,802	0,696
0,353	0,778	0,814	1,004	1,166	1,237	1,273	1,217	1,071	0,941	0,770	0,613
0,453	0,553	0,633	0,798	1,015	1,154	1,245	1,107	0,932	0,759	0,592	0,474
0,553	"	"	"	"	0,976	1,055	0,885	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 2.

Débit : $0^{mc},658$. — Profondeur du courant : $0^{m},853$. — Vitesse moyenne : $0^{m},413$.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	$0^{m},95$	$0^{m},90$	$0^{m},70$	$0^{m},50$	$0^{m},30$	0	$0^{m},30$	$0^{m},50$	$0^{m},70$	$0^{m},90$	$0^{m},95$
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,050	0,702	0,809	1,021	1,082	1,194	1,227	1,087	0,954	0,912	0,736	0,646
0,200	0,840	0,954	1,082	1,201	1,213	1,211	1,111	1,046	0,964	0,784	0,719
0,350	0,862	0,995	1,128	1,242	1,235	1,186	1,136	1,070	0,971	0,786	0,632
0,500	0,774	0,889	1,036	1,186	1,218	1,242	1,070	0,995	0,840	0,806	0,511
0,600	0,702	0,785	0,864	1,053	1,111	1,148	1,004	0,918	0,825	0,668	0,412
0,700	"	"	"	0,944	1,007	0,985	0,944	0,770	"	"	"
0,750	"	"	"	"	0,826	0,937	0,831	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 3.

Débit : 0^{mc},940. — Profondeur du courant : 0^{m},987. — Vitesse moyenne : 0^{m},501.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0^{m},95	0^{m},94	0^{m},90	0^{m},70	0^{m},50	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},50	0^{m},70	0^{m},90	0^{m},94	0^{m},95
	À GAUCHE.							À DROITE.					
mèt.													
0,050	0,719	"	0,828	0,998	1,182	1,261	1,202	1,063	1,004	0,888	0,727	"	0,698
0,200	0,800	"	0,848	1,092	1,181	1,182	1,193	1,120	1,013	0,978	0,804	"	0,717
0,350	0,834	"	0,910	1,168	1,235	1,275	1,216	1,167	1,092	1,021	0,882	"	0,747
0,500	0,768	"	0,964	1,154	1,215	1,250	1,269	1,194	1,081	1,018	0,882	"	0,780
0,650	0,766	"	0,900	1,046	1,125	1,188	1,181	1,135	1,066	0,914	0,786	0,561	"
0,750	"	0,699	0,718	0,834	1,046	1,086	1,105	0,990	0,922	0,812	0,627	0,561	"
0,850	"	"	"	"	0,844	0,970	0,954	0,936	0,820	"	"	"	"

EXPÉRIENCE N° 4. (Voir pl. XXIII, fig. 6.)

Débit : 1^{mc},296. — Profondeur du courant : 1^{m},135. — Vitesse moyenne : 0^{m},638.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0^{m},95	0^{m},90	0^{m},70	0^{m},50	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},50	0^{m},70	0^{m},90	0^{m},95
	À GAUCHE.						À DROITE.				
mèt.											
0,050	0,768	0,837	0,847	1,002	1,070	1,061	0,970	0,911	0,826	0,757	0,632
0,200	0,750	0,848	1,034	1,108	1,107	1,076	1,002	0,989	0,903	0,780	0,682
0,350	0,760	0,815	1,024	1,103	1,097	1,088	1,043	0,975	0,959	0,824	0,715
0,500	0,771	0,837	1,081	1,135	1,145	1,124	1,092	1,044	0,996	0,741	0,721
0,650	0,765	0,788	1,039	1,107	1,081	1,161	1,102	1,012	0,925	0,772	0,618
0,800	0,772	0,864	0,973	1,044	1,076	1,097	1,017	0,948	0,922	0,788	0,629
0,900	0,595	0,666	0,850	0,882	0,944	1,001	0,975	0,924	0,788	0,624	0,532
1,000	"	"	"	0,758	0,850	0,921	0,773	0,714	"	"	"
1,050	"	"	"	"	"	0,799	"	"	"	"	"

Courbes d'égale vitesse.

30. Ainsi que nous l'avons déjà annoncé plus haut, quarante-trois expériences, dont les résultats sont indiqués numériquement dans les tableaux précédents, sont en outre figurées graphiquement sur les planches nos XIX à XXIII. L'inspection de ces figures permet de juger assez facilement de la distribution des vitesses; mais cette distribution peut encore être rendue plus sensible en traçant sur la figure un système de courbes. Supposons que l'on réunisse tous les points de la section transversale où passent des filets liquides animés d'une même vitesse V; l'ensemble de ces points formera une courbe d'égale vitesse. On peut en tracer une infinité; mais pour rendre la discussion des résultats plus facile, il est nécessaire d'adopter un système uniforme, qui permette de comparer immédiatement deux expériences différentes. Nous tracerons donc dans toutes les sections transversales que nous aurons à étudier :

1° La courbe passant par tous les points animés de la vitesse moyenne U. Cette courbe est figurée par un trait plus fort que les autres.

2° Les courbes passant par tous les points où la vitesse est égale à 0,7U, 0,8U, 0,9U, 1,1U, 1,2U, 1,3U. Le tracé de ces courbes s'opérera comme nous l'avons expliqué dans le chapitre précédent. (Voir séries nos 51 et 53, pl. XVIII.)

31. Les courbes, ainsi déterminées, donnent immédiatement une idée assez exacte de la répartition des vitesses. Leur figure reproduit en général la forme même du profil transversal du canal. La résistance que la paroi oppose au mouvement du fluide immédiatement en contact avec elle est en effet la cause immédiate de l'inégale répartition des vitesses. Cette résistance retarde le mouvement de la couche voisine de la paroi; celle-ci, à son tour, retarde le mouvement de la couche suivante, et ainsi de suite. On doit donc s'attendre à retrouver dans les courbes d'égale vitesse la forme plus ou moins altérée du profil transversal. En jetant les yeux sur les planches XIX à XXIII, on voit qu'il en est ainsi. Dans les canaux demi-circulaires, ces courbes sont à

peu de chose près des cercles concentriques. La figure 2 de la planche XXII (canal demi-circulaire en ciment), présente seule des irrégularités notables dans la partie centrale de la section. L'écoulement était très-tumultueux dans ce canal, et la perturbation accidentelle que l'on remarque dans la répartition des vitesses est également accusée par un exhaussement du niveau du liquide au milieu du courant. Dans les sections trapézoïdales, triangulaires et rectangulaires, les courbes ont à peu près la forme d'un trapèze, d'un triangle, d'un rectangle. Elles reproduisent donc toujours plus ou moins fidèlement la figure du profil transversal; mais cette similitude générale une fois admise, un examen plus attentif fait découvrir promptement des exceptions. Les courbes les plus voisines du fond ne sont complètes que dans le cas d'un canal demi-circulaire; elles vont ordinairement se perdre en rencontrant la paroi sous un angle aigu, ainsi que l'avait déjà remarqué M. Baumgarten dans ses expériences sur la Garonne. Les courbes les plus voisines de la surface, au lieu de la rencontrer sous un angle droit, la coupent dans la plupart des cas sous un angle aigu, et manifestent une tendance à se refermer complétement, en plaçant le maximum de vitesse notablement au-dessous de la surface du courant. Cette tendance paraît d'autant plus prononcée, toutes circonstances égales d'ailleurs, que les vitesses sont moindres. Comparons, en effet, les quatre séries d'expériences faites dans des canaux demi-circulaires, dont les dimensions étaient peu différentes et qui avaient tous la même pente de $0^m,0015$ par mètre. La tendance que nous venons de signaler augmente à mesure que la résistance à la paroi augmente, c'est-à-dire à mesure que les vitesses diminuent; en effet, elle est insensible pour les séries n°s 71 et 72 (canaux en ciment); elle commence à se manifester pour la série n° 73 (canal en planches); enfin elle devient très-apparente pour la série n° 74 (canal recouvert de petit gravier). Dans cette dernière série, la courbe des vitesses égales à 1,2U est complétement fermée, et les courbes voisines viennent couper la surface sous un angle aigu.

La comparaison des neuf séries n°s 58 à 66 met en évidence cette particularité d'une manière encore plus saillante. On a vu que ces neuf séries forment trois groupes, dans lesquels la résistance à la paroi va en croissant, savoir :

Série n° 58.	— Parois en planches	Pente de 0,0015
——— 59.	— *Idem*	Pente de 0,0059
——— 60.	— *Idem*	Pente de 0,00839
Série n° 61.	— Parois recouvertes de liteaux espacés de 0^{m},01	Pente de 0,0015
——— 62.	— *Idem*	Pente de 0,0059
——— 63.	— *Idem*	Pente de 0,00886
Série n° 64.	— Parois recouvertes de liteaux espacés de 0^{m},05	Pente de 0,0015
——— 65.	— *Idem*	Pente de 0,0059
——— 66.	— *Idem*	Pente de 0,00886

Dans les trois séries du premier groupe, l'inflexion des courbes, à l'approche de la surface, n'est sensible que pour la série n° 58 (pente de 0,0015). Si l'on passe ensuite au deuxième groupe, cette inflexion se manifeste dans les trois séries, tout en restant toujours plus marquée pour celle qui correspond aux plus petites vitesses (série n° 61). Enfin, dans le troisième groupe, les courbes les plus voisines de la surface se referment presque complétement, surtout dans la figure 8 (pl. XX) correspondante à la série n° 64. On voit clairement, dans cette figure, l'existence d'un noyau central animé de la plus grande vitesse et situé à peu près au tiers de la profondeur totale. Les courbes les plus voisines de ce noyau forment comme une série d'ellipses concentriques, tandis que les courbes les plus rapprochées de la paroi ont conservé à peu près la forme de rectangles arrondis. Cette disposition se manifeste d'une manière encore plus saillante pour les séries n°s 76 et 77. (Expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne. Voir pl. XXIII, fig. 4 et 6.)

32. La distribution des vitesses, dans un courant découvert, est donc beaucoup plus compliquée qu'on ne pourrait le penser en voyant la régularité parfaite avec laquelle elles se répartissent dans l'intérieur d'un tuyau. Dans ce cas, en effet, elles se distri-

buent avec une régularité presque mathématique. La symétrie de la section transversale se reproduit dans les vitesses, que l'on retrouve absolument les mêmes dans tous les points qui se correspondent géométriquement. Dans un tuyau circulaire elles sont égales sur tous les points d'un même cercle, ayant le même centre que le tuyau. Dans un tuyau rectangulaire, elles sont de même égales pour les quatre points symétriquement placés par rapport au centre. Dans l'écoulement à ciel ouvert, au contraire, des perturbations considérables se produisent aux environs de la surface du courant. Ces perturbations, qui paraissent être d'autant plus considérables que les vitesses sont moindres, font descendre le maximum de vitesse à une grande profondeur, et modifient complétement la figure des courbes qui viennent couper très-obliquement la surface. En présence de ces perturbations, il n'est guère permis d'espérer que l'on puisse parvenir à des formules précises donnant la vitesse en chaque point, en fonction de la vitesse moyenne et des deux coordonnées qui déterminent la position de ce point.

CHAPITRE IV.

DISCUSSION DES EXPÉRIENCES FAITES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

Distribution des vitesses dans un canal rectangulaire très-large.

33. Le cas le plus simple que l'on puisse considérer dans la recherche de la répartition des vitesses est évidemment celui d'un canal rectangulaire de largeur indéfinie, dans lequel la résistance des parois latérales est supposée nulle. Il est clair que dans un semblable canal les courbes d'égale vitesse se confondraient sensiblement avec des lignes droites parallèles au fond, de telle sorte que la vitesse en un point donné ne dépendrait que de la profondeur de ce point au-dessous de la surface. Il suffit dès lors de déterminer la loi suivant laquelle les vitesses décroissent sur une même verticale.

Cette hypothèse n'est pas complétement réalisable dans la pratique; cependant si nous examinons parmi les expériences sur des canaux rectangulaires celles dans lesquelles la hauteur de l'eau ne dépassait pas le quart ou le cinquième de la largeur, nous reconnaîtrons que les vitesses varient fort peu dans un certain espace de part et d'autre de l'axe. L'action des parois sur la partie centrale du courant est donc peu sensible, et l'on peut admettre que la décroissance des vitesses sur la verticale qui passe par l'axe est à peu près la même que dans l'hypothèse où le canal aurait une largeur infinie. Reportons-nous aux expériences faites sur des canaux rectangulaires de 2 mètres environ de largeur; elles forment douze séries comprenant ensemble trente-deux expériences. Il faut d'abord exclure celles dans lesquelles la profondeur est assez grande, par rapport à la largeur, pour que

l'influence des parois latérales se fasse sentir jusqu'au milieu du courant. Cette limite n'a évidemment rien de parfaitement déterminé; cependant on voit, en examinant les courbes d'égale vitesse tracées sur les planches, que l'influence des parois s'étend bien visiblement jusqu'à l'axe du courant pour les expériences suivantes :

Série n° 56.	Expérience n°	1.
——— 57.	———	1.
——— 58.	———	4.
——— 61.	———	4.
——— 64.	———	1 et 2.
——— 65.	———	4.

c'est-à-dire pour toutes celles dans lesquelles la profondeur dépasse le cinquième de la largeur totale. Ces sept expériences étant exclues, le nombre de celles que nous avons à discuter se réduit à vingt-cinq, savoir :

7 expériences où la vitesse a été mesurée en 2	points sur chaque verticale.
10 expériences où la vitesse a été mesurée en 3	*Idem.*
8 expériences où la vitesse a été mesurée en 4	*Idem.*

L'action des parois latérales sur la partie centrale du courant est négligeable dans ces vingt-cinq expériences, car si l'on compare pour chacune d'elles la vitesse à la surface mesurée dans l'axe et celle que l'on a obtenue à $0^m,20$ à droite ou à gauche, on trouve que ces deux vitesses ne diffèrent généralement que de un à deux centièmes et souvent moins.

Cependant toutes ces expériences ne sont pas également propres à révéler la loi cherchée. Les huit dernières, qui ont l'avantage de fournir le plus grand nombre de données, sont en même temps celles qui présentent le plus de garanties d'exactitude. En effet, la position de l'instrument employé à mesurer les vitesses ne pouvant être connue qu'à deux ou trois millimètres près, une erreur sur la position du point où il est placé a d'autant moins d'importance que l'on opère sur une plus grande profondeur.

Nous discuterons donc, en première ligne, ces huit expériences, qui sont :

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	NATURE DE LA PAROI.
Série n° 55. Expérience n° 1.....	Canal en ciment.
——— 58. ——— 3.....	Canal en planches.
——— 59. ——— 4.....	*Idem.*
——— 61. ——— 3.....	Canal revêtu de liteaux espacés de $0^m,01$.
——— 62. ——— 4.....	*Idem.*
——— 63. ——— 3.....	*Idem.*
——— 65. ——— 3.....	Canal revêtu de liteaux espacés de $0^m,05$.
——— 66. ——— 2.....	*Idem.*

34. Soit V la vitesse mesurée au milieu du courant en un point aussi rapproché que possible de la surface : nous supposerons ce point situé à la surface même, bien qu'il soit ordinairement à 2 ou 3 centimètres au-dessous. Désignons en outre par v la vitesse en un point situé à la profondeur h au-dessous de la surface, par H la profondeur totale du courant, et enfin par I la pente du canal. Nous allons démontrer que la loi de décroissance des vitesses, à partir de la surface, est représentée par l'équation fort simple

$$(1) \qquad \frac{V-v}{\sqrt{HI}} = K\left(\frac{h}{H}\right)^2$$

K étant une constante invariable. Il suffira, pour constater l'existence de cette relation, de calculer les valeurs de $\frac{V-v}{\sqrt{HI}}$ et celles de $\left(\frac{h}{H}\right)^2$, et de faire voir que le rapport de ces deux quantités est un nombre à peu près constant. Le tableau suivant contient pour chacune des huit expériences le résultat de ce calcul : il est divisé en trois parties, de manière à grouper ensemble celles qui ont été faites sur des natures de paroi présentant une résistance analogue à l'écoulement.

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	PROFONDEUR au-dessous de la surface du point où la vitesse a été mesurée h	VALEURS de $\frac{h}{H}$	DIFFÉRENCE entre la vitesse à la surface et la vitesse au point situé à la profondeur h $V-v$	VALEURS DE $\frac{V-v}{\sqrt{HI}}$	VALEURS DE $\frac{V-v}{\sqrt{HI}\left(\frac{h}{H}\right)^2}$
	mèt.		mèt.		
1° PAROIS UNIES, EN CIMENT OU EN PLANCHES.					
Série n° 55. — Expérience n° 1...	0,107	0,398	0,127	3,50	22,1
$H = 0^m,269$. $I = 0,0049$.....	0,163	0,606	0,287	7,91	21,5
	0,219	0,814	0,524	14,44	21,8
Série n° 58. — Expérience n° 3...	0,132	0,398	0,088	3,95	24,9
$H = 0^m,332$. $I = 0,0015$.....	0,232	0,699	0,204	9,15	18,7
	0,302	0,910	0,401	17,98	21,7
Série n° 59. — Expérience n° 4...	0,135	0,509	0,214	5,42	20,9
$H = 0^m,265$. $I = 0,0059$.....	0,185	0,698	0,406	10,28	21,1
	0,235	0,887	0,685	17,34	22,0
2° PAROIS MOINS UNIES, EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,01$.					
Série n° 61. — Expérience n° 3...	0,137	0,363	0,062	2,61	19,8
$H = 0^m,377$. $I = 0,0015$.....	0,237	0,629	0,143	6,01	15,2
	0,337	0,894	0,373	15,67	19,6
Série n° 62. — Expérience n° 4...	0,130	0,406	0,119	2,74	16,6
$H = 0^m,320$. $I = 0,0059$.....	0,230	0,719	0,394	9,06	17,5
	0,280	0,875	0,667	15,33	20,0
Série n° 63. — Expérience n° 3...	0,129	0,451	0,215	4,27	21,0
$H = 0^m,286$. $I = 0,00886$.....	0,196	0,685	0,445	8,85	18,9
	0,246	0,860	0,780	15,51	21,0
3° PAROIS EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,05$.					
Série n° 65. — Expérience n° 3...	0,130	0,404	0,133	3,05	18,7
$H = 0^m,322$. $I = 0,0059$.....	0,230	0,714	0,425	9,75	19,1
	0,290	0,901	0,667	15,30	18,9
Série n° 66. — Expérience n° 2...	0,150	0,395	0,069	1,19	7,6
$H = 0^m,380$. $I = 0,00886$.....	0,250	0,658	0,421	7,26	16,8
	0,350	0,921	0,989	17,05	20,1

On voit, à l'inspection de ce tableau, que le rapport K est à peu près constant; chaque expérience fournit trois valeurs déduites des vitesses obtenues aux deuxième, troisième et quatrième points d'observation à partir de la surface. Les erreurs sur $V - v$ étant d'autant plus à craindre que l'on opère plus près de la surface, nous ferons séparément les moyennes de chaque système de valeurs de K, ainsi qu'il suit (en excluant la valeur évidemment erronée $K = 7,6$).

DÉSIGNATION des séries.	1re VALEUR de K	2e VALEUR de K	3e VALEUR de K
Série n° 55	22,1	21,5	21,8
—— 58	24,9	18,7	21,7
—— 59	20,9	21,1	22,0
—— 61	19,8	15,2	19,6
—— 62	16,6	17,5	20,0
—— 63	21,0	18,9	21,0
—— 65	18,7	19,1	18,9
—— 66	//	16,8	20,1
Moyennes	20,6	18,6	20,6

Moyenne générale : $K = 20$

Représentation graphique des résultats précédents.

35. Ces nombres sont aussi bien d'accord qu'il est possible de l'espérer, car la moindre erreur sur l'une des vitesses V et v suffit pour modifier considérablement leur différence et par suite le coefficient K; cette remarque est surtout applicable aux points les plus voisins de la surface : la valeur $K = 20,6$, déduite des vitesses les plus éloignées de la surface, doit donc être considérée comme la plus exacte. Le calcul des valeurs particulières de K

confirme l'exactitude de la formule (1); mais on peut rendre cette concordance plus manifeste encore par une comparaison graphique. Construisons, pour chaque expérience, une courbe dont les valeurs de $\frac{V-v}{\sqrt{HI}}$ seront les ordonnées, et celles de $\frac{h}{H}$ les abscisses : nous obtenons ainsi huit courbes, déterminées chacune par trois points. Ces courbes, ou du moins les trois points fournis par chaque expérience, sont figurés sur la planche XXIV (fig. 1); la parabole qui aurait pour équation $y = 20x^2$ y est également indiquée par un trait pointillé, et l'on voit que tous ces points en sont peu éloignés. Les expériences ont été faites sur des natures de paroi extrêmement différentes, car le coefficient $\frac{RI}{U^2}$ varie de 0,000172 (parois en ciment, série n° 55) à 0,000829 (parois recouvertes de liteaux espacés de 0^m05, série n° 66); à chaque valeur de $\frac{h}{H}$ correspond donc toujours une même valeur de $\frac{V-v}{\sqrt{HI}}$, de telle sorte qu'en prenant la première de ces deux quantités pour abscisse, et la deuxième pour ordonnée, on obtiendra, dans tous les cas, des courbes différant très-peu d'une même parabole du second degré.

36. Nous n'avons considéré, jusqu'à présent, que les expériences qui fournissent chacune trois points de la courbe cherchée; il en existe encore, ainsi qu'on l'a vu précédemment, dix qui en font connaître deux, et sept autres qui n'en donnent qu'un seul. Si on leur applique le même calcul en éliminant quelques anomalies, on obtient une valeur plus faible $K = 18$. Le coefficient K semble donc aller en décroissant avec la profondeur du courant. Mais cette décroissance apparente n'est que le résultat d'une erreur d'expérimentation. A mesure que la profondeur du courant diminue, les vitesses varient plus rapidement pour un même déplacement dans le sens vertical, et il devient de plus en plus difficile d'obtenir exactement la vitesse maxima V, parce qu'une erreur de position, négligeable lorsque la profondeur s'élève à $0^m,30$ ou $0^m,40$, ne l'est plus lorsqu'elle est seu-

lement de $0^m,15$; on obtient donc nécessairement, dans ce dernier cas, des valeurs trop petites pour V, et par suite pour $V-v$ et K.

37. Mais, indépendamment de cette cause d'erreur, particulière à quelques expériences, il en existe une autre plus générale, qui tend à diminuer la valeur de K. Nous avons supposé nulle l'action des parois latérales sur la partie centrale du courant, ce qui n'est pas complétement exact. Admettons pour un instant que ces parois n'exercent plus aucune action sur le fluide avec lequel elles sont en contact, il est évident que l'effet de cette diminution de résistance sera d'augmenter la vitesse du courant en réduisant sa profondeur. On se trouvera donc placé dans le cas hypothétique d'un canal de largeur infinie, et si l'on procède de nouveau au calcul de K, la différence $V-v$ ayant augmenté, et H, au contraire, ayant diminué, on obtiendra des valeurs de K plus élevées qu'auparavant.

Il est assez difficile d'évaluer exactement dans quel rapport; on peut cependant reconnaître, par aperçu, que cette augmentation ne serait pas considérable. Soient U la vitesse moyenne du courant, U′ ce que deviendrait cette vitesse si la résistance des parois latérales venait à s'anéantir tout à coup, α le rapport $\frac{U'}{U}$. Nous supposerons, ce qu'un examen attentif des expériences rend assez vraisemblable, que toutes les vitesses seraient augmentées dans le même rapport, c'est-à-dire qu'en désignant par v la vitesse en un point situé à la profondeur h, par v' la vitesse en un point situé à la profondeur h' dans le courant modifié, on aurait

$$v' = \alpha v$$

en supposant les points placés d'une manière homologue, c'est-à-dire $\frac{h'}{H'} = \frac{h}{H}$; on a évidemment

$$H' = \frac{H}{\alpha}$$

La nouvelle valeur de K serait donc

$$K' = K\alpha^{\frac{1}{2}}$$

Pour déterminer α, nous remarquerons que le rapport $\frac{RI}{U^2}$ doit être sensiblement le même dans les deux états du courant. Le rayon moyen est dans le premier cas $\frac{LH}{L+H}$ (L étant la demi-largeur du canal), et dans le deuxième cas H', en ne comprenant plus les parois latérales dans l'évaluation du périmètre. On peut donc poser

$$\frac{LH}{L+H} \times \frac{I}{U^2} = \frac{H'I}{U'^2}$$

ou, en supprimant le facteur commun I,

$$\frac{U'^2 H}{U^2 H'} = 1 + \frac{H}{L}$$

mais

$$\frac{U'}{U} = \frac{H}{H'} = \alpha$$

donc enfin

$$\alpha^3 = 1 + \frac{H}{L}$$

et par suite

$$K' = K\alpha^{\frac{3}{2}} = K\sqrt{1 + \frac{H}{L}}$$

Pour les expériences comprises dans le premier tableau, qui a donné $K = 20{,}6$, $\alpha^{\frac{3}{2}}$ varie de 1,12 à 1,18, soit 1,15 en moyenne, d'où

$$K' = 20{,}6 \times 1{,}15 = 23{,}7$$

Il est donc vraisemblable que si l'on pouvait opérer sur un canal dans lequel l'action des parois fût rigoureusement nulle, K s'élèverait jusqu'à 24.

Distribution des vitesses dans un canal rectangulaire quelconque.

38. La loi suivant laquelle varient les vitesses dans un canal de largeur indéfinie est bien simple; mais si nous examinons maintenant le cas où la profondeur est assez grande relativement à la largeur pour que l'action des parois latérales se fasse sentir jusqu'au milieu du courant, cette distribution paraît varier suivant des lois extrêmement compliquées; peut-être même n'est-elle plus susceptible d'être représentée par une formule. A mesure que la profondeur augmente, on voit les courbes d'égale vitesse s'infléchir

de plus en plus aux environs de la surface, et le maximum de vitesse se trouve non plus à la surface, mais à une assez grande profondeur au-dessous. La résistance de l'air au mouvement de la couche superficielle n'a certainement qu'une faible influence sur ce phénomène, en admettant toutefois, comme nous l'avons fait jusqu'à présent, que l'expérience soit faite par un temps calme. Si l'on compare dans un même canal les vitesses à la surface correspondantes à diverses hauteurs d'eau, on peut reconnaître que leur décroissance depuis l'axe du courant jusqu'à la paroi est d'autant plus prononcée que la hauteur d'eau est plus grande. Cette comparaison est facile à faire sur les neuf séries, nos 58 à 66, dans lesquelles la largeur du canal et la disposition des points choisis pour la mesure des vitesses sont sensiblement les mêmes. En considérant en particulier les valeurs de $\frac{V}{U}-\frac{v}{U}$ pour le point situé aux $\frac{9}{10}$ de la demi-largeur, c'est-à-dire à $0^m,08$ ou $0^m,10$ de la paroi, on obtient les résultats suivants (en prenant la moyenne des deux valeurs obtenues à droite et à gauche de l'axe) :

SÉRIES Nos 58, 59 ET 60.

PAROIS EN PLANCHES.

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 58.	SÉRIE N° 59.	SÉRIE N° 60.
1	0,263	0,166	0,233
2	0,277	0,184	0,292
3	0,292	0,225	
4	0,329	0,262	

SÉRIES Nos 61, 62 ET 63.

PAROIS RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,01.

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 61.	SÉRIE N° 62.	SÉRIE N° 63.
1	0,270	0,231	0,301
2	0,365	0,253	0,389
3	0,449	0,354	0,423
4	0,405	0,399	

SÉRIES Nos 64, 65 ET 66.

PAROIS RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 64.	SÉRIE N° 65.	SÉRIE N° 66.
1	0,517	0,341	0,443
2	0,488	0,405	0,516
3		0,638	
4		0,648	

La comparaison de ces chiffres fait bien voir que la décroissance des vitesses de part et d'autre de l'axe est d'autant plus rapide que la profondeur est plus grande; mais l'on n'aperçoit aucune loi bien déterminée. Les courbes d'égale vitesse, tout en

conservant à peu près leur physionomie générale, se modifient et se déplacent d'une manière notable lorsque l'on passe d'une expérience à l'autre, et cela sans que la loi de ces modifications, qui tiennent à bien des causes diverses, puisse être clairement assignée. Nous nous bornerons donc à des généralités concernant celles de ces vitesses qu'il est le plus important de connaître, c'est-à-dire la vitesse moyenne, la vitesse maxima et la vitesse à la paroi.

39. Si l'on considère d'abord le cas d'un canal dont la largeur est très-grande relativement à la profondeur, la vitesse moyenne U est déterminée par l'expression

$$U = \frac{1}{H}\int_0^H \left[V - K\left(\frac{h}{H}\right)^2\sqrt{RI}\right] dh = V - \frac{K}{3}\sqrt{RI}$$

et la profondeur h au-dessous de la surface s'obtiendra en posant

$$\left(\frac{h}{H}\right)^2 = \frac{1}{3}$$

d'où

$$h = 0{,}577\ H$$

c'est-à-dire que la vitesse moyenne se trouverait à peu près aux $\frac{3}{5}$ de la profondeur totale. Mais cette formule suppose que la vitesse décroît sur chaque verticale exactement d'après la loi parabolique trouvée plus haut. Cette hypothèse n'est admissible que dans un canal très-large et parfaitement régulier. Dans la plupart des cas, la vitesse moyenne est située à une profondeur plus grande que 0,577 H. Déterminons, en effet, pour chacune des expériences précédentes, la position de la vitesse moyenne sur la verticale passant par l'axe. Si l'on désigne par h' la profondeur du point où se trouve la vitesse moyenne, les valeurs du rapport $\frac{h'}{H}$ sont groupées dans le tableau suivant.

numéros des expériences.	SÉRIE n° 55.	SÉRIE n° 56.	SÉRIE n° 57.	SÉRIE n° 58.	SÉRIE n° 59.	SÉRIE n° 60.	SÉRIE n° 61.	SÉRIE n° 62.	SÉRIE n° 63.	SÉRIE n° 64.	SÉRIE n° 65.	SÉRIE n° 66.
1	0,81	0,81	0,84	0,78	0,83	0,75	0,75	0,70	0,81	0,85	0,74	0,75
2				0,73	0,78	0,78	0,83	0,75	0,80	0,86	0,77	0,76
3				0,76	0,77		0,87	0,77	0,78		0,77	
4				0,77	0,80		0,89	0,83			0,84	

Ces valeurs ne peuvent évidemment être déterminées que d'une manière graphique et à quelques centièmes près. Elles renferment bien des anomalies, quoique l'on ait eu soin, quand la vitesse mesurée sur l'axe paraissait erronée, de se servir de celle qui avait été mesurée à droite ou à gauche. Néanmoins il est visible que la vitesse moyenne se trouve fort au-dessous des $\frac{3}{5}$ de la profondeur; elle est même le plus souvent un peu au-dessous des $\frac{3}{4}$. Lorsque la profondeur est un peu grande et la vitesse faible, la courbe de la vitesse moyenne se rapproche encore plus du fond : elle ne se rencontre plus qu'aux $\frac{4}{5}$ de la profondeur totale du courant.

40. Nous avons obtenu plus haut la relation

$$U = V - \frac{K}{3}\sqrt{RI}$$

d'où l'on tire, en supposant $K = 24$, et remarquant que $\frac{\sqrt{RI}}{U} = \sqrt{A}$

$$(2) \qquad \frac{V}{U} = 1 + 8\sqrt{A}$$

Telle serait la valeur du rapport $\frac{V}{U}$ si la loi parabolique était complétement applicable dans toute l'étendue de la section du courant. Mais en réalité ce rapport est habituellement plus grand; on a vu précédemment qu'il est approximativement donné par la formule

$$\frac{V}{U} = 1 + 14\sqrt{A}$$

La vitesse maxima, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer plusieurs fois, ne se trouve pas toujours à la surface du courant. Elle en est d'autant plus éloignée que la profondeur est plus grande et la vitesse moyenne moindre. Elle ne se trouve quelquefois qu'aux $\frac{2}{3}$ de la profondeur totale. La décroissance des vitesses aux environs de la surface s'observe du reste, non-seulement au milieu du courant, mais sur chaque verticale.

41. Si l'on fait dans la formule (1) $h = H$, on a pour la vitesse w au fond

$$w = V - K\sqrt{RI} \tag{3}$$

Cette formule ne serait applicable que dans le cas d'un canal de largeur infinie; mais, abstraction faite de cette hypothèse purement théorique, la loi suivant laquelle varie la vitesse à la paroi paraît fort compliquée. La plus grande vitesse se trouve habituellement au milieu du fond horizontal du canal; elle va en diminuant de part et d'autre de ce point jusqu'aux angles formés par le fond et par les parois verticales où se trouvent les plus petites vitesses de toute la section. Le long des parois verticales elle est ordinairement plus grande dans la partie moyenne que près de la surface ou près du fond. La connaissance exacte de la vitesse à la paroi serait d'une grande importance pour la recherche des lois de l'écoulement; malheureusement cette détermination présente les plus grandes difficultés.

Distribution des vitesses dans un canal trapézoïdal ou triangulaire.

42. Les considérations précédentes sont en grande partie applicables aux expériences faites sur des canaux de forme trapézoïdale ou triangulaire.

Les courbes d'égale vitesse reproduisent bien la figure du profil transversal pour les séries n°s 68 et 70. Quant à la série n° 69, ce profil n'était pas symétrique par rapport à l'axe du courant : les courbes sont inclinées vers la droite et accusent le défaut de symétrie de la section, les vitesses étant plus grandes contre la paroi verticale de gauche que contre la paroi inclinée de droite.

En examinant les figures 4, 6 et 8 de la planche XXI, on voit en outre que la vitesse maxima se trouvait notablement au-dessous de la surface, et que la vitesse moyenne n'a été rencontrée qu'au-dessous des $\frac{3}{4}$ de la profondeur totale.

La distribution des vitesses dans la rigole du Tillot (série n° 75, pl. XXIII, fig. 1 et 2), dont le profil est extrêmement régulier, présente la plus grande analogie avec ce que nous avons obtenu dans des canaux d'expérience. Mais il n'en est pas de même dans les rigoles de Chazilly et de Grosbois (séries n°s 76 et 77, pl. XXIII, fig. 3, 4, 5 et 6). Dans la première (partie murée du Roussot, fig. 3 et 4), le profil transversal n'est pas symétrique : il comprend en outre trois natures de paroi différentes, maçonnerie à mortier sur la paroi verticale de droite, terre vaseuse sur le fond, maçonnerie à pierre sèche sur la paroi inclinée de gauche. Aussi la figure des courbes d'égale vitesse est-elle fort singulière, la vitesse moyenne se trouvant presque contre la paroi de droite. Dans la rigole murée de Grosbois (fig. 5 et 6), dont le profil est symétrique, les irrégularités sont un peu moins saillantes. On peut remarquer que la vitesse maxima, dans ces deux rigoles, n'a été obtenue que vers le centre de figure de la section et au milieu de la profondeur totale.

Distribution des vitesses dans un canal demi-circulaire.

43. Considérons maintenant les canaux à section demi-circulaire (séries n°s 71, 72, 73 et 74). Lorsque dans un canal de cette forme le débit est assez grand pour que l'eau s'élève jusqu'au diamètre, la vitesse ne dépend plus que de la distance au centre du point que l'on considère, et reste constante pour tous les points situés sur un même cercle concentrique à la paroi. La dernière expérience de chacune des quatre séries se trouve précisément dans ce cas. Les points choisis pour la mesure des vitesses ont été à dessein répartis suivant des cercles concentriques à la paroi. (Voir pl. XXII.) Faisons la moyenne des vitesses obtenues sur chaque cercle, et inscrivons en regard de ces moyennes le rayon correspondant r, nous aurons le tableau suivant, qui pré-

sente, sous une forme abrégée, le résumé complet des quatre expériences.

SÉRIE N° 71.		SÉRIE N° 72.		SÉRIE N° 73.		SÉRIE N° 74.	
RAYON du cercle r	MOYENNE des vitesses v	RAYON du cercle r	MOYENNE des vitesses v	RAYON du cercle r	MOYENNE des vitesses v	RAYON du cercle r	MOYENNE des vitesses v
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,00	2,086	0,00	1,920	0,00	1,905	0,00	1,449
0,10	2,083	0,10	1,910	0,10	1,898	0,10	1,430
0,20	2,040	0,20	1,879	0,20	1,880	0,15	1,422
0,30	2,004	0,30	1,819	0,30	1,862	0,20	1,445
0,40	1,938	0,40	1,741	0,40	1,795	0,25	1,430
0,50	1,837	0,50	1,633	0,50	1,718	0,30	1,409
0,575	1,652	0,60	1,305	0,60	1,560	0,40	1,330
0,60	1,523			0,67	1,316	0,50	1,133
						0,56	0,972
						0,585	0,829

Les valeurs de v, pour la série n° 71, sont les moyennes de celles qu'ont fournies les expériences n°s 6, 7 et 8, dans lesquelles l'eau atteignait et même dépassait légèrement le diamètre.

La vitesse au centre, pour la série n° 72, était d'après l'expérience $2^m,000$: cette valeur est évidemment erronée, car partout ailleurs la vitesse au centre ne surpasse que de quelques millimètres celle qui a lieu à $0^m,10$ au delà. Aussi avons-nous remplacé cette valeur inexacte par le chiffre $1^m,920$ qui doit être beaucoup plus près de la vérité.

M. Darcy a déduit de ses expériences de 1851, sur les tuyaux de conduite, la relation suivante entre la vitesse v d'un point situé à la distance r du centre et la vitesse centrale V,

$$V - v = \frac{K}{R} r^{\frac{2}{3}} \sqrt{I}$$

R étant le rayon du tuyau, I la perte de charge par mètre courant, K un coefficient numérique égal à 11,3. Cette équation peut s'écrire sous la forme

$$(4) \qquad \frac{V-v}{\sqrt{RI}} = 11,3\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{1}{7}}$$

Examinons si elle se vérifie sur les expériences précédentes : calculons d'abord, pour chacune d'elles, les valeurs de $\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$ et celles de $\frac{r}{R}$.

Les quantités R et I sont :

Série n° 71.	$R = 0^m,625$.	$I = 0,0015$.
——— 72.	$R = 0^m,625$.	$I = 0,0015$.
——— 73.	$R = 0^m,700$.	$I = 0,0015$.
——— 74.	$R = 0^m,610$.	$I = 0,0015$.

A l'aide de ces données et des valeurs de V et de v inscrites dans le tableau qui précède, il est facile de calculer $\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$ et $\frac{r}{R}$.

SÉRIE N° 71.			SÉRIE N° 72.			SÉRIE N° 73.			SÉRIE N° 74.		
$\frac{r}{R}$	$V-v$	$\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$	$\frac{r}{R}$	$V-v$	$\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$	$\frac{r}{R}$	$V-v$	$\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$	$\frac{r}{R}$	$V-v$	$\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$
	mèt.			mèt.			mèt.			mèt.	
0,160	0,003	0,10	0,160	0,010	0,33	0,143	0,007	0,22	0,164	0,019	0 63
0,320	0,046	1,50	0,320	0,041	1,34	0,286	0,025	0,77	0,246	0,027	0,89
0,480	0,082	2,68	0,480	0,101	3,30	0,429	0,043	1,33	0,328	0,004	0,13
0,640	0,148	4,83	0,640	0,179	5,85	0,571	0,110	3,39	0,410	0,019	0,63
0,800	0,249	8,13	0,800	0,287	9,37	0,714	0,187	5,77	0,492	0,040	1,32
0,920	0,434	14,17	0,960	0,615	20,08	0,857	0,345	10,65	0,656	0,119	3,93
0,960	0,563	18,39				0,957	0,589	18,18	0,820	0,316	10,45
									0,918	0,477	15,77
									0,959	0,620	20,50

On voit sans peine, en examinant ce tableau, qu'à une même

valeur de $\frac{r}{R}$ correspondent pour toutes les séries des valeurs sensiblement égales de $\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$; mais cette dernière quantité augmente suivant une progression beaucoup plus rapide que $\left(\frac{r}{R}\right)^{\frac{3}{2}}$; à l'aide de quelques tâtonnements, on peut reconnaître que la formule

$$(5) \qquad \frac{V-v}{\sqrt{RI}} = K\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

représenterait beaucoup mieux les résultats de l'expérience. On obtiendra la constante K en calculant, comme nous l'avons fait pour les canaux rectangulaires, quelques valeurs particulières de $\frac{V-v}{\sqrt{RI}\left(\frac{r}{R}\right)^3}$. Ce calcul appliqué aux points peu éloignés du centre n'apprendrait rien, car la moindre erreur sur l'une des deux vitesses V ou v modifierait énormément la constante cherchée. Nous le ferons seulement pour les points rapprochés de la paroi où $\frac{r}{R}$ dépasse 0,90.

DÉSIGNATION DES SÉRIES.	$\frac{r}{R}$	$\frac{V-v}{\sqrt{RI}\left(\frac{r}{R}\right)^3}$
Série n° 71	0,920	18,2
	0,960	20,8
—— 72	0,960	22,7
—— 73	0,957	20,7
—— 74	0,918	20,4
	0,959	23,2
Moyennes des six valeurs de K		21,0

En adoptant la valeur K = 21, la formule (5) devient

$$(6) \qquad \frac{V-v}{\sqrt{RI}} = 21\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

Représentation graphique des résultats précédents.

44. La représentation graphique des résultats éclaircira ce qui précède. Construisons pour chaque série une courbe qui ait pour abscisses les valeurs de $\frac{r}{R}$ et pour ordonnées celles de $\frac{V-v}{\sqrt{RI}}$. Ces

courbes, ou du moins les points de chacune d'elles fournis par l'expérience, sont figurées pl. XXIV, fig. 2; on y a indiqué également les courbes théoriques déterminées par les équations (4) et (6). La dernière représente assez bien les résultats, sauf peut-être dans la partie comprise entre les abscisses $\frac{r}{R} = 0,60$ et $\frac{r}{R} = 0,90$, où elle laisse un peu au-dessous les points donnés par l'expérience directe. Quant à celle qui représente, comme on l'a vu plus haut, la décroissance des vitesses dans un tuyau fermé, elle suit une marche tout à fait différente. Notablement au-dessus de l'autre courbe pour les petites valeurs de $\frac{r}{R}$, elle la rencontre un peu au delà de l'abscisse $\frac{r}{R} = 0,66$, puis reste ensuite au-dessous et s'en éloigne de plus en plus, à tel point qu'en parvenant à l'abscisse $\frac{r}{R} = 0,96$ l'une des courbes a pour ordonnée 18,6 et l'autre 10,6.

Nous sommes donc amené à constater, ainsi que nous l'avons fait dans le cas d'un tuyau rectangulaire (chap. II), une grande différence dans la répartition des vitesses, suivant que l'écoulement a lieu à ciel ouvert ou dans un tuyau en charge. La divergence est très-considérable cette fois : elle n'a rien qui doive surprendre pour les points rapprochés du centre, où le voisinage de la surface modifie profondément l'écoulement; mais près de la paroi elle atteint de telles proportions, que cette dernière cause ne saurait peut-être suffire à l'expliquer.

La formule (4) a été obtenue par M. Darcy en mesurant la vitesse dans plusieurs tuyaux au centre et en deux points situés l'un au tiers et l'autre aux deux tiers du rayon. Elle représente très-bien les résultats d'expérience dont elle a été déduite, mais, comme toute formule empirique, elle ne peut être employée avec certitude en dehors des limites entre lesquelles elle a été obtenue, c'est-à-dire pour les points situés au delà des deux tiers du rayon. C'est précisément dans cette région que se manifeste la divergence des deux courbes. Il ne serait donc pas impossible

que, dans un tuyau fermé, la décroissance des vitesses dans le voisinage de la paroi s'opérât plus rapidement que ne l'indiquerait la formule obtenue par M. Darcy.

45. Quoi qu'il en soit, la formule (6) est applicable au cas d'un canal découvert. Si l'on y fait $r = R$, on a comme pour les canaux rectangulaires

$$w = V - K\sqrt{RI}$$

La vitesse moyenne U se déterminera par l'expression

$$U = \frac{1}{\pi R^2}\int_0^R \left[V - K\sqrt{RI}\left(\frac{r}{R}\right)^3\right] 2\pi r dr$$

ou, en effectuant les calculs,

$$U = V - \frac{2}{5}K\sqrt{RI}$$

d'où l'on tire, en remarquant que $\frac{\sqrt{RI}}{U} = \sqrt{2A}$,

$$\frac{V}{U} = 1 + \frac{2}{5}K\sqrt{2A}$$

cette expression devient, en remplaçant K par 21,

$$\frac{V}{U} = 1 + 11{,}9\sqrt{A}$$

équation peu différente de celle que nous avons obtenue dans le chapitre I.

Le rayon r' du cercle où se trouvent les points animés de la vitesse moyenne est

$$r' = R\sqrt[3]{\frac{2}{5}} = 0{,}737\,R$$

La vitesse moyenne serait donc aux $\frac{3}{4}$ du rayon : en réalité elle ne se rencontre qu'à une distance un peu plus grande du centre.

Lorsque le niveau de l'eau n'atteint pas le diamètre, la distribution des vitesses n'est plus aussi simple : toutefois elle est moins compliquée que dans les canaux rectangulaires, en raison sans doute de la continuité du profil. Les courbes d'égale vitesse ne

s'écartent pas beaucoup de cercles concentriques, et les vitesses à la paroi ne sont pas très-différentes entre elles, ainsi qu'il arrive dans les angles latéraux des canaux rectangulaires. Ce fait explique pourquoi la figure demi-circulaire est celle qui, toutes circonstances égales d'ailleurs, présente le moins de résistance à l'écoulement.

46. Revenons aux deux équations

$$\frac{V-v}{\sqrt{HI}}=K\left(\frac{h}{H}\right)^2 \qquad \frac{V-v}{\sqrt{RI}}=K\left(\frac{r}{R}\right)^3$$

trouvées plus haut pour les canaux rectangulaires et demi-circulaires; en généralisant ces expressions, on serait conduit à poser, pour un canal quelconque :

$$V-v=\varphi\sqrt{RI} \tag{7}$$

R étant le rayon moyen et φ une fonction des coordonnées qui déterminent dans la section du courant la position du point que l'on considère; cette fonction doit, comme les expressions $\left(\frac{h}{H}\right)^2$ et $\left(\frac{r}{R}\right)^3$ des formules précédentes, dépendre, non pas des valeurs absolues des coordonnées, mais de leurs rapports aux dimensions générales de la section du courant. Ainsi, dans une section rectangulaire de largeur L et de profondeur H, φ serait fonction, non des coordonnées x et y, mais plutôt des rapports $\frac{x}{L}$ et $\frac{y}{H}$, que l'on peut appeler les coordonnées *relatives* du point considéré. Lorsque l'on veut étudier la loi de répartition des vitesses dans un courant, il faut évidemment faire abstraction de ses dimensions absolues et des valeurs absolues des vitesses elles-mêmes, et considérer seulement les coordonnées *relatives* de chaque point et les vitesses *relatives* $\frac{v}{U}$. En divisant par U les deux membres de l'équation (7), il vient :

$$\frac{V-v}{U}=\varphi\sqrt{A}$$

Cette relation, qui ne contient plus que des rapports, restera la

même pour tous les canaux de figure semblable, et ne changera qu'avec A. On voit que les vitesses diffèrent d'autant plus que le coefficient $\sqrt{A}$ est plus grand; c'est la valeur de ce coefficient qui donne en quelque sorte la mesure de la variation plus ou moins rapide des vitesses dans les canaux.

QUATRIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

CHAPITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

Formule fondamentale.

1. Les courants dont le régime n'est pas uniforme ont déjà fait l'objet de diverses recherches. La formule fondamentale qui sert de point de départ à ces recherches, et qui a été donnée presque en même temps par M. Belanger et par M. le général Poncelet, est ordinairement présentée sous la forme :

$$(1) \qquad z = \alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g} + \int \frac{aU + bU^2}{R} ds$$

z désigne l'abaissement de la surface du courant entre deux points où les vitesses moyennes sont U'' et U', α un coefficient inconnu que l'on suppose ordinairement un peu plus grand que l'unité. L'expression $aU + bU^2$ et la lettre R ont la même signification que dans la formule du mouvement uniforme $RI = aU + bU^2$; ds désigne la longueur d'un élément du courant, compris entre deux sections transversales infiniment voisines; l'intégrale est prise entre les sections qui limitent la partie du courant que l'on considère.

En différentiant l'équation, et remplaçant, comme nous l'avons fait jusqu'à présent, le binôme $aU + bU^2$ par l'expression monôme AU^2, la formule devient :

$$(2) \qquad dz = \alpha \frac{UdU}{g} + \frac{AU^2}{R} ds$$

Cette formule est sujette à plusieurs objections. Elle suppose, en

premier lieu, que dans le mouvement varié les vitesses se trouvent réparties de la même manière que dans le mouvement uniforme, de telle sorte que la résistance à la paroi ait dans les deux cas la même expression. Cette hypothèse, qui peut être suffisamment exacte lorsque le régime du courant varie avec une grande lenteur, doit certainement conduire, dans beaucoup de cas, à des résultats erronés. Une seconde cause d'erreur est l'incertitude qui règne sur la valeur du coefficient α qui affecte le terme $\frac{U''^2 - U'^2}{2g}$. Ce coefficient est, comme l'on sait, égal au rapport $\frac{\Sigma\omega u^3}{\Omega U^3}$, dans lequel $\Sigma\omega u^3$ représente la somme des produits de la surface de chaque élément de la section transversale par le cube de la vitesse de cet élément, et ΩU^3 le produit de la surface totale de la section par le cube de la vitesse moyenne. M. Poncelet a démontré que α est plus grand que l'unité, mais on ignore entre quelles limites il varie; on ignore, en outre, s'il est constant pour un même courant, ou bien s'il change d'une section à l'autre. La valeur du terme $\alpha\left(\frac{U''^2 - U'^2}{2g}\right)$ est donc extrêmement incertaine; aussi la plupart des auteurs, considérant que ce terme n'est ordinairement pas très-important, ont fait simplement $\alpha = 1$. Nous chercherons plus loin à obtenir quelques données sur la valeur de ce coefficient; mais nous allons d'abord rappeler les principales conséquences qui se déduisent de l'équation du mouvement varié.

2. Prenons l'équation sous la forme différentielle :

$$dz = \alpha\frac{UdU}{g} + \frac{AU^3}{R}ds$$

Soient h la profondeur du courant et I la pente du fond, on a,

$$dz = Ids - dh$$

Supposons en outre le canal rectangulaire, et désignons par l sa largeur et par Q le débit, il vient,

$$U = \frac{Q}{lh}$$

d'où

$$\alpha\frac{UdU}{g} = -\frac{\alpha}{g}\frac{Q^2dh}{l^2h^3} = -\frac{\alpha U^2}{gh}dh$$

Substituant, l'équation générale devient :

$$\mathrm{I}ds - dh = -\frac{\alpha U^2}{gh}dh + \frac{AU^2}{R}ds$$

ou

$$(3) \qquad dh = \mathrm{I}ds\frac{1 - \frac{AU^2}{RI}}{1 - \frac{\alpha U^2}{gh}}$$

Telle est, sous une forme très-simple, l'équation différentielle de la courbe formée par la surface du courant; pour la rendre intégrable, il faudrait remplacer R, U et A par leurs valeurs en fonction de h. Les valeurs de R et de U sont connues, mais il n'en est pas de même de celle de A; lorsque l'on considère un courant dont le régime est uniforme, nous avons vu que l'on a, à fort peu près, $A = \alpha + \frac{\beta}{R}$, α et β étant deux constantes; rien ne nous autorise à supposer que ces deux coefficients α et β restent les mêmes lorsque le régime du courant n'est plus uniforme; d'ailleurs l'introduction de la valeur de A en fonction de R rendrait les calculs compliqués. Nous nous contenterons donc, quant à présent, de rappeler à l'aide d'une discussion sommaire les propriétés fondamentales de la courbe représentée par l'équation (3)[1].

Désignons par H la profondeur du courant dans son état naturel, c'est-à-dire dans l'hypothèse où le régime serait partout uniforme en l'absence de toute cause étrangère tendant à élever ou à abaisser le niveau de l'eau. Si l'on donne à h différentes valeurs, il est facile de voir que le numérateur $1 - \frac{AU^2}{RI}$ sera positif si $h > H$, nul si $h = H$, et négatif si $h < H$. Quant au dénominateur, il faut distinguer deux cas suivant que, dans le courant non modifié, $\frac{\alpha U^2}{gH}$ est plus petit ou plus grand que l'unité.

[1] Voir pour cette discussion l'ouvrage de M. Dupuit : *Études théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux courantes*, 1848, chap. III, et celui de M. Bresse, *Cours de mécanique appliquée professé à l'École des ponts et chaussées*, 1860, pag. 226 et suiv.

Courants dans lesquels $\frac{\alpha U^2}{gH}$ est plus petit que l'unité.

3. Supposons d'abord, ce qui arrive ordinairement dans les cours d'eau naturels $\frac{\alpha U^2}{gH} < 1$; si l'on examine successivement le cas du remou de gonflement, où l'eau est soulevée au-dessus de la surface du régime uniforme, et celui du remou d'abaissement, où elle est au contraire abaissée au-dessous, la courbe présente les caractères suivants :

1° Remou de gonflement, $h > H$.

La valeur de $\frac{dh}{ds}$ qui représente l'inclinaison de la tangente à la courbe sur le fond du canal est toujours positive; elle tend à devenir nulle à mesure que h se rapproche de H; la courbe vers l'amont va donc en se rapprochant indéfiniment de la surface naturelle du courant. A mesure que l'on descend au contraire vers l'aval, $\frac{dh}{ds}$ se rapproche de I, et la courbe tend à devenir horizontale; elle a d'ailleurs une asymptote horizontale, au-dessous de laquelle le niveau du courant ne peut s'abaisser. La forme de cette branche infinie, comprise entre deux asymptotes, rappelle celle d'une hyperbole.

2° Remou d'abaissement, $h < H$.

Si, au lieu de donner à h des valeurs plus grandes que H, on lui donne des valeurs plus petites, on obtient la figure du remou d'abaissement. Vers l'amont, la courbe est encore asymptote à la surface naturelle du courant, mais en descendant vers l'aval, la valeur de $\frac{dh}{ds}$, tout en restant négative, va en augmentant, et finit par devenir infinie pour une certaine valeur h' de h, qui rend $\frac{\alpha U^2}{gh}$ égal à l'unité (h' est par hypothèse inférieur à H). La courbe devient donc en ce point perpendiculaire au fond du courant. En faisant encore décroître h au-dessous de cette valeur, $\frac{dh}{ds}$ deviendrait positif et l'on obtiendrait une nouvelle branche remontant vers l'amont; cette branche, qui a une asymptote horizontale, n'est qu'un résultat d'analyse dont il est inutile de s'occuper.

4. Supposons maintenant $\frac{\alpha U^2}{gH}$ plus grand que l'unité, la valeur h' de h qui rend $\frac{dh}{ds}$ infini est dans ce cas supérieure à H.

Courants dans lesquels $\frac{\alpha U^2}{gH}$ est plus grand que l'unité.

1° Remou de gonflement, $h > H$.

Si l'on donne à h des valeurs supérieures à h', $\frac{dh}{ds}$ converge, à mesure que h augmente, vers la limite I. Si l'on fait au contraire $h < h'$, $\frac{dh}{ds}$ change de signe, et l'on obtient une nouvelle branche de courbe retournant vers l'aval, qu'il est inutile de considérer.

La courbe du remou de gonflement ne se prolonge donc pas vers l'amont, et s'arrête brusquement en formant un ressaut à la surface du courant; vers l'aval elle se rapproche indéfiniment d'une asymptote horizontale.

2° Remou d'abaissement, $h < H$.

La tangente $\frac{dh}{ds}$ devient positive, ce qui sera le plus souvent contradictoire avec la nature même d'un remou d'abaissement, où la profondeur devrait aller en diminuant vers l'aval. Le calcul n'indique donc plus rien, ce qui donne lieu de penser que si l'on abaisse par une cause quelconque la surface de l'eau en un point donné, le raccordement avec la surface d'amont se fera par une chute brusque, sans que la dépression puisse se prolonger en amont.

5. Les caractères de la courbe du remou peuvent donc être résumés ainsi qu'il suit :

1° Canaux dans lesquels $\frac{\alpha U^2}{gH} < 1$.

Remou de gonflement.

Courbe convexe vers le fond, asymptote vers l'amont à la surface naturelle du courant, vers l'aval à une ligne horizontale.

Remou d'abaissement.

Courbe concave vers le fond, asymptote vers l'amont à la surface naturelle du courant, se terminant vers l'aval par une chute perpendiculaire au fond du canal.

2° Courants dans lesquels $\frac{\alpha U^2}{gH} > 1$.

Remou de gonflement.

Courbe concave vers le fond, asymptote vers l'aval à une ligne horizontale, se terminant vers l'amont par un ressaut brusque perpendiculaire au fond du canal.

Remou d'abaissement.

Ce remou n'existe plus : le raccordement de la surface abaissée en un point du canal avec la surface d'amont s'opère par une chute brusque.

Conditions nécessaires pour la production du ressaut.

6. On voit que les cours d'eau peuvent se partager en deux classes pour lesquelles les phénomènes de remou s'opèrent d'une manière tout à fait différente, suivant que $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est plus petit ou plus grand que l'unité. Cherchons à interpréter cette condition. On a, en désignant par l la largeur du canal :

$$U^2 = \frac{RI}{A} = \frac{lhI}{(l+2h)A}$$

La relation $\frac{\alpha U^2}{gh} > 1$ devient,

$$\frac{\alpha l I}{(l+2h)gA} > 1$$

d'où l'on tire,

$$I > \frac{l+2h}{l\alpha} gA$$

On peut supposer, pour simplifier, le cours d'eau assez large pour que $\frac{l+2h}{l}$ ne diffère pas sensiblement de l'unité ; on peut faire en outre $\alpha = 1$. Ces simplifications n'ont d'autre effet que de modifier un peu la limite de pente cherchée, sans changer la signification du résultat; l'inégalité précédente devient donc,

$$I > gA$$

Lorsqu'elle sera satisfaite, le remou de gonflement s'opérera par un ressaut, et le remou d'abaissement cessera de se produire.

Dans l'hypothèse d'un canal très-large, le rayon moyen R ne différant pas de la profondeur h, on a :

$$A = \alpha' + \frac{\beta'}{h} = \alpha'\left(1 + \frac{k}{h}\right).$$

k désignant le rapport $\frac{\beta'}{\alpha'}$. Substituant cette valeur de A dans l'inégalité précédente, il vient,

$$(4) \qquad I > g\alpha'\left(1 + \frac{k}{h}\right)$$

Cette condition ne sera satisfaite par aucune des valeurs de h, si la pente I est inférieure à $g\alpha'$, c'est-à-dire que dans ce cas il n'y aura jamais ressaut. Si au contraire I est plus grand que $g\alpha'$, il faudra, pour que le ressaut devienne possible, que l'on ait :

$$(5) \qquad h > k\frac{g\alpha'}{I - g\alpha'}$$

Appliquons ce calcul aux quatre catégories de parois, pour lesquelles nous avons déterminé des formules spéciales (chap. IV, IIe partie). Nous avons :

1re Catégorie. — Parois très-unies (ciment lissé, bois raboté avec soin, etc.)..... $\alpha' = 0{,}00015$ $k = 0{,}03$

2e Catégorie. — Parois unies (pierre de taille, brique, planche, etc.)..... $\alpha' = 0{,}00019$ $k = 0{,}07$

3e Catégorie. — Parois peu unies en maçonnerie de moellons..... $\alpha' = 0{,}00024$ $k = 0{,}25$

4e Catégorie. — Parois en terre..... $\alpha' = 0{,}00028$ $k = 1{,}25$

En introduisant ces données dans les formules (4) et (5), on obtient pour chaque nature de paroi les conditions nécessaires à la production du ressaut; savoir :

1° PAROIS TRÈS-UNIES (CIMENT, ETC.)

Si la pente est inférieure à 0,00147, le ressaut ne peut avoir lieu.

Sur une pente de 0,002, le ressaut est possible dès que la profondeur dépasse 0m,08
——————— 0,003, *idem*..... 0 ,03
——————— 0,004, *idem*..... 0 ,02
.....

2° PAROIS UNIES (PIERRE DE TAILLE, BRIQUE, ETC.).

Si la pente est inférieure à 0,00186, le ressaut ne peut avoir lieu.

Sur une pente de	0,003, le ressaut est possible dès que la profondeur dépasse	0m,12
———	0,004, *idem*.....	0 ,06
———	0,006, *idem*.....	0 ,03
.....		

3° PAROIS PEU UNIES EN MAÇONNERIE DE MOELLONS.

Si la pente est inférieure à 0,00235, le ressaut ne peut avoir lieu.

Sur une pente de	0,004, le ressaut est possible dès que la profondeur dépasse	0m,36
———	0,006, *idem*.....	0 ,16
———	0,010, *idem*.....	0 ,08
.....		

4° PAROIS EN TERRE.

Si la pente est inférieure à 0,00275, le ressaut ne peut avoir lieu.

Sur une pente de	0,006, le ressaut est possible dès que la profondeur dépasse	1m,06
———	0,010, *idem*.....	0 ,47
———	0,015, *idem*.....	0 ,28
.....		

Ce tableau montre que le ressaut a presque toujours lieu sur les parois unies (ciment, pierre de taille, planche, etc.) dès que la pente dépasse 2 ou 3 millimètres par mètre. Les canaux d'expérimentation sont le plus souvent dans ce cas. Sur les parois en terre, le ressaut ne peut se produire que dans des circonstances tout exceptionnelles; car la pente d'un canal en terre dépasse rarement 0,00275, et les pentes plus considérables qui

figurent au tableau précédent ne pourraient exister que si les parois étaient de nature rocheuse ou revêtues d'un perré.

Détermination du coefficient α.

7. Les expériences faites sur divers cas du mouvement varié seront rapportées en détail dans le chapitre suivant : mais il convient auparavant de déterminer le coefficient α qui entre dans la formule générale; nous chercherons en même temps à calculer le coefficient $\alpha' = \frac{\Sigma \omega u^2}{\Omega U^2}$ que l'on a également occasion d'employer dans les calculs hydrauliques. Si l'on connaissait parfaitement la loi de répartition des vitesses, le calcul de ces deux coefficients se réduirait à une simple intégration. On peut en effet en obtenir une valeur approchée par ce procédé, lorsque la loi des vitesses est assez régulière, par exemple dans le cas d'un canal rectangulaire de grande largeur ou d'un canal demi-circulaire. Mais nous avons vu qu'en général la répartition des vitesses aux environs de la surface est fort compliquée et ne paraît guère susceptible d'une représentation analytique; il faut donc, si l'on veut obtenir les sommes $\Sigma \omega u^2$ et $\Sigma \omega u^3$, recourir de nouveau à l'expérience et calculer directement ces quantités en multipliant chaque élément de la surface par le carré ou le cube de la vitesse constatée expérimentalement. Nous appliquerons ce procédé aux expériences du chapitre III, IIIe partie, ainsi qu'aux cinq séries nos 84 à 88 (voir plus loin, chap. II). Mais nous allons auparavant présenter quelques considérations générales qui devront nous servir de guide dans cette recherche.

Considérons d'abord les courants à régime uniforme, et posons

$$u = U + u'$$

on a

$$\alpha' = \frac{1}{\Omega U^2} \Sigma (U^2 + 2Uu' + u'^2) \omega$$

$$\alpha = \frac{1}{\Omega U^3} \Sigma (U^3 + 3U^2 u' + 3Uu'^2 + u'^3) \omega$$

Si l'on remarque que le premier terme de chacune de ces deux expressions est égal à l'unité, et que le second est nul, elles peuvent s'écrire :

$$\alpha' = 1 + \frac{\Sigma u'^2 \omega}{\Omega U^2}$$
$$\alpha = 1 + \frac{3\Sigma u'^2 \omega}{\Omega U^2} + \frac{\Sigma u'^3 \omega}{\Omega U^3}$$

Le terme $\frac{\Sigma u'^3 \omega}{\Omega U^3}$ est ordinairement très-petit; si on le néglige et que l'on fasse $\frac{\Sigma u'^2 \omega}{\Omega U^2} = \beta$, on a donc :

$$\alpha' = 1 + \beta$$
$$\alpha = 1 + 3\beta$$

On a vu dans le chapitre précédent que la différence u' peut être mise sous la forme $u' = \varphi\sqrt{RI}$, φ étant une fonction des coordonnées qui déterminent la position du point que l'on considère dans la section du courant. On aura donc,

$$\beta = \frac{\Sigma \varphi^2 \omega}{\Omega} \frac{RI}{U^2}$$

et par suite,

$$(6) \qquad \begin{cases} \alpha' = 1 + MA \\ \alpha = 1 + 3MA \end{cases}$$

M étant un coefficient qui ne dépend plus que de la forme de la section transversale. On peut encore, en remarquant que $\sqrt{A} = K\left(\frac{V}{U} - 1\right)$ (IIIe partie, chap. I), mettre α' et α sous la forme :

$$(7) \qquad \begin{cases} \alpha' = 1 + N\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2 \\ \alpha = 1 + 3N\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2 \end{cases}$$

8. La valeur de ces deux coefficients augmente donc avec la résistance à la paroi. Appliquons ces considérations au cas d'un canal rectangulaire de largeur indéfinie. Nous supposerons, en

généralisant un peu l'équation (1) du chapitre IV, IIIe partie, que la loi de distribution des vitesses est représentée par la formule

$$u = V - K\left(\frac{x}{H}\right)^m \sqrt{HI}$$

x étant la profondeur du point que l'on considère au-dessous de la surface et H la profondeur totale. La vitesse moyenne U est donnée par l'expression :

$$U = \frac{1}{H}\int_0^H \left[V - K\left(\frac{x}{H}\right)^m \sqrt{HI}\right] dx = V - \frac{K}{m+1}\sqrt{HI}$$

On en déduit, pour $\frac{u'}{U}$ ou $\frac{u-U}{U}$,

$$\frac{u'}{U} = \frac{K}{U}\left[\frac{1}{m+1} - \left(\frac{x}{H}\right)^m\right]\sqrt{HI}$$

ou bien, en remarquant que $\frac{K}{U}\sqrt{HI} = (m+1)\left(\frac{V}{U} - 1\right)$,

$$\frac{u'}{U} = \left(\frac{V}{U} - 1\right)\left[1 - (m+1)\left(\frac{x}{H}\right)^m\right]$$

La valeur β de l'intégrale $\frac{1}{\Omega}\Sigma\left(\frac{u'}{U}\right)^2\omega$ est facile à calculer, et l'on a

$$\beta = \frac{1}{H}\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2 \int_0^H \left[1 - (m+1)\left(\frac{x}{H}\right)^m\right]^2 dx = \frac{m^2}{2m+1}\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2$$

Si l'on fait $m = 2$, ce qui convient à peu près aux canaux d'une grande largeur, on a donc :

$$(8) \qquad \begin{cases} \alpha' = 1 + \frac{4}{5}\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2 \\ \alpha = 1 + \frac{12}{5}\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2 \end{cases}$$

expressions qui, en supposant $\frac{V}{U} = 1{,}25$, ce qui est le cas le plus ordinaire, donnent $\alpha' = 1{,}05$, $\alpha = 1{,}15$.

Si l'on effectuait les mêmes calculs sur un canal à section demi-circulaire dans lequel la décroissance des vitesses serait représentée par la formule :

$$u = V - K\left(\frac{x}{R}\right)^m \sqrt{RI}$$

(x étant la distance au centre du point considéré et R le rayon total), on obtiendrait :

$$(9)\qquad \begin{cases} \alpha' = 1 + \dfrac{m^2}{4(m+1)}\left(\dfrac{V}{U} - 1\right)^2 \\ \alpha = 1 + \dfrac{3m^2}{4(m+1)}\left(\dfrac{V}{U} - 1\right)^2 \end{cases}$$

Le coefficient $\frac{m^2}{4(m+1)}$ serait égal à $\frac{9}{16}$ pour $m = 3$.

9. Laissant de côté ces calculs, nous allons chercher directement α et α' pour les expériences rapportées au chapitre III, IIIe partie, en multipliant chaque élément de la section transversale par la vitesse mesurée expérimentalement. On obtient ainsi les chiffres suivants pour α' et α.

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	VALEURS DE $\alpha = \frac{\Sigma \omega u^3}{\Omega U^3}$	$\alpha' = \frac{\Sigma \omega u^2}{\Omega U^2}$	$A = \frac{RI}{U^2}$
CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES.			
Série n° 58. — Expérience n° 4.....	1,063	1,020	0,000226
Série n° 59. — Expérience n° 4.....	1,052	1,018	0,000223
Série n° 60. — Expérience n° 2.....	1,040	1,014	0,000224
Moyennes.....	1,052	1,017	0,000224
CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES recouvertes de liteaux espacés de 0m,01.			
Série n° 61. — Expérience n° 4.....	1,074	1,025	0,000338
Série n° 62. — Expérience n° 4.....	1,071	1,023	0,000365
Série n° 63. — Expérience n° 3.....	1,088	1,030	0,000401
Moyennes.....	1,078	1,026	0,000368
CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES recouvertes de liteaux espacés de 0m,05.			
Série n° 64. — Expérience n° 1.....	1,134	1,041	0,000668
Idem. — Expérience n° 2.....	1,182	1,050	0,000659
Série n° 65. — Expérience n° 4.....	1,136	1,047	0,000773
Série n° 66. — Expérience n° 1.....	1,156	1,056	0,000896
Idem. — Expérience n° 2.....	1,152	1,052	0,000829
Moyennes.....	1,152	1,049	0,000765

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	VALEURS DE $\alpha = \frac{\Sigma \omega u^3}{\Omega U^3}$	$\alpha' = \frac{\Sigma \omega u^2}{\Omega U^2}$	$A = \frac{RI}{U^2}$
TUYAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES.			
Série n° 51. — Moyenne des 3 exp. n°s 3, 5 et 6.	1,046	1,012	0,000275
Série n° 52. — Moyenne des 3 exp. n°s 4, 6 et 8.	1,060	1,023	0,000318
Moyennes.....	1,053	1,018	0,000296
CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES.			
Série n° 68. — Expérience n° 4.....	1,048	1,016	0,000227
RIGOLE MURÉE DU TILLOT.			
Série n° 75. — Expérience n° 1.....	1,068	1,024	0,000329
Idem. — Expérience n° 3.....	1,073	1,026	0,000270
Moyennes.....	1,071	1,025	0,000300
CANAUX DEMI-CIRCULAIRES.			
CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT PUR.			
Série n° 71. — Expérience n° 6.....	1,026	1,008	0,000138
Idem. — Expérience n° 7.....	1,021	1,007	0,000138
Idem. — Expérience n° 8.....	1,029	1,009	0,000138
Moyennes.....	1,025	1,008	0,000138
CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT mélangé d'un tiers de sable.			
Série n° 72. — Expérience n° 5.....	1,043	1,015	0,000163
CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN PLANCHES.			
Série n° 73. — Expérience n° 4.....	1,038	1,013	0,000187
CANAL DEMI-CIRCULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER.			
Série n° 74. — Expérience n° 4.....	1,089	1,031	0,000427

10. Nous avons choisi dans chaque série, pour calculer α et α', les expériences pour lesquelles la vitesse avait été mesurée dans le plus grand nombre de points et qui présentaient par cela même plus de chances d'exactitude. On voit que ces coefficients vont bien en croissant avec la résistance à la paroi, et que si l'on pose,

$$\alpha' = 1 + MA$$

on a aussi, à fort peu près,

$$\alpha = 1 + 3MA$$

On tire de ces deux égalités :

$$M = \frac{\alpha' - 1}{A} \qquad M = \frac{\alpha - 1}{3A}$$

Calculons, à l'aide des données du tableau précédent, la valeur de M pour chaque série ou groupe de séries.

	VALEURS DE $\frac{\alpha'-1}{A}$	VALEURS DE $\frac{\alpha-1}{3A}$
Canaux rectangulaires en planches (séries n°s 58, 59 et 60). — Moyenne de 3 expériences	76	77
Canaux rectangulaires en planches recouvertes de liteaux espacés de 0^{m},01 (séries n°s 61, 62 et 63). — Moyenne de 3 expériences	71	71
Canaux rectangulaires en planches recouvertes de liteaux espacés de 0^{m},05 (séries n°s 64, 65 et 66). — Moyenne de 5 expériences	64	66
Canal trapézoïdal en planches (série n° 68)	70	70
Rigole murée du Tillot (série n° 75). — Moyenne de 2 expériences	83	79
Canal demi-circulaire en ciment (série n° 71). — Moyenne de 3 expériences	58	60
Canal demi-circulaire en ciment mélangé d'un tiers de sable (série n° 72)	92	88
Canal demi-circulaire en planches (série n° 73)	69	68
Canal demi-circulaire revêtu de petit gravier (série n° 74)	73	69
Moyennes	73	72

Ces valeurs de M présentent entre elles des différences assez

grandes : il était facile de le prévoir, car la moindre erreur sur α et sur α' suffit pour altérer complétement le coefficient cherché M. La moyenne générale serait 72,5 [1]. Une différence de quelques unités sur M n'ayant pas d'importance, on peut adopter la valeur plus simple 70, et poser :

$$(10) \qquad \begin{cases} \alpha' = 1 + 70\,A \\ \alpha = 1 + 210\,A \end{cases}$$

Les formules théoriques (8) et (9) ont donné :

1° Pour un canal rectangulaire de largeur infinie, $M = \frac{4}{5}\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2$

2° Pour un canal demi-circulaire . . . . . $M = \frac{9}{16}\left(\frac{V}{U} - 1\right)^2$

Mais on a dans le premier cas (voir chap. IV, IIIe partie),

$$\frac{V}{U} - 1 = 8\sqrt{A}$$

et dans le second,

$$\frac{V}{U} - 1 = 11{,}9\sqrt{A}$$

En substituant ces valeurs, on obtiendrait $M = 51$ pour le canal rectangulaire, et $M = 79$ pour le canal demi-circulaire.

11. Les valeurs qué nous venons de déterminer pour α et α' sont déduites d'expériences sur des courants dont le régime était uniforme. Elles subiraient certainement quelques modifications dans le cas du mouvement varié. Toutefois ces modifications ne paraissent pas devoir être bien importantes lorsque le mouvement n'est que lentement varié. Nous avons en effet répété les calculs précédents sur des expériences relatives au remou d'abaissement dont les résultats seront rapportés dans le chapitre suivant (sé-

[1] Nous n'avons pas compris dans cette moyenne ni dans le tableau précédent la valeur de M fournie par les expériences sur un tuyau rectangulaire (séries nos 51 et 52). Cette valeur serait $M = 60$.

ries nos 84, 85 et 88). Les valeurs obtenues pour α et α' sont les suivantes :

		VALEURS de α.	VALEURS α'.
CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.			
Série n° 88	Expérience n° 1	1,047	1,019
	Expérience n° 2	1,029	1,007
	Expérience n° 3	1,038	1,009
	Expérience n° 4	1,039	1,013
	Moyennes	1,038	1,012
CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES recouvertes de liteaux espacés de 0m,05.			
Série n° 84	Expérience n° 2	1,146	1,049
	Expérience n° 3	1,117	1,038
Série n° 85	Expérience n° 1	1,103	1,042
	Expérience n° 2	1,120	1,030
	Expérience n° 3	1,122	1,042
	Moyennes	1,122	1,040

Ces nouvelles valeurs de α et α' sont un peu plus faibles que celles qui ont été obtenues en opérant sur des courants dont le régime était uniforme. Cette modification n'aurait en général qu'une influence bien peu importante dans les calculs relatifs au mouvement varié.

CHAPITRE II.

EXPÉRIENCES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

Ce chapitre sera consacré à la discussion de quelques expériences sur le mouvement varié. Nous distinguerons, comme dans le chapitre précédent, deux cas, suivant que $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est inférieur ou supérieur à l'unité.

1° COURANTS DANS LESQUELS $\frac{\alpha U^2}{gh}$ EST INFÉRIEUR À L'UNITÉ ET OÙ LE RESSAUT NE PEUT SE PRODUIRE.

12. Nous disposons pour ce cas de six séries d'expériences : trois concernent le remou de gonflement et les trois autres le remou d'abaissement. Les premières (nos 78, 79 et 80) ont été exécutées sur les canaux qui avaient servi aux expériences des séries nos 12, 15 et 16 (voir IIe partie, chap. I). Des barrages établis pour les séries nos 78 et 79 à 429 mètres, et pour la série no 80 à 200 mètres de l'origine de la rigole, retenaient l'eau de manière à donner naissance au remou de gonflement (voir planches XXV et XXVI). Quant aux trois séries qui se rapportent au cas du remou d'abaissement, elles ont eu lieu, la première (no 81), dans le même canal que la série no 79, en remplaçant le barrage par une chute brusque (planche XXV), la deuxième (no 82), dans un canal en planches à fond horizontal (pl. XXVI), la troisième (no 83), dans l'aqueduc de ceinture de Paris (pl. XXVI), dont le fond est presque horizontal sur 4 kilomètres de longueur. Les expériences sur l'aqueduc de ceinture ont été faites en avril 1857, par M. l'ingénieur en chef Belgrand, à la prière de M. Darcy. Tous les orifices d'écoulement qui existent sur le parcours de

l'aqueduc étant fermés, et le niveau de l'eau dans le réservoir de Monceaux étant abaissé au-dessous du radier de manière à ne produire aucun remou, on a laissé le régime permanent s'établir, et on a relevé ensuite le profil en long de la surface du courant. On avait opéré avec quatre débits différents : malheureusement une fausse manœuvre, faite par l'un des opérateurs, jette quelque doute sur l'exactitude des trois premières opérations, et nous n'avons cru devoir conserver que les résultats de la dernière : c'est celle qui a été faite avec le plus grand débit, $0^{mc},766$ par seconde; la hauteur de l'eau a été mesurée à trois reprises différentes; un intervalle de 40 minutes s'est écoulé entre la première et la dernière constatation, qui ne présentent que des différences insignifiantes; la permanence du régime est donc assurée.

Le nivellement complet de la surface du courant dans chaque expérience occuperait ici trop d'espace; on le trouvera dans l'Appendice. Nous nous bornerons, dans ce chapitre, à rapporter les profondeurs du courant de distance en distance, de manière à donner une idée suffisante de la courbe affectée par la surface de l'eau.

SÉRIE N° 78.

(15 et 16 février 1859.)

CANAL EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,01$.

Pente de $0^m,0015$ par mètre.

NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.			
		EXPÉRIENCE N° 1. Débit de $0^{mc},203$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit de $0^{mc},411$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit de $0^{mc},824$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit de $1^{mc},236$ par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
142	231,17	0,171	0,264	0,487	0,617
148	239,63	0,172	0,264	0,493	0,618
154	248,05	0,178	0,267	0,509	0,624
160	257,01	0,170	0,265	0,505	0,632
166	267,07	0,173	0,261	0,515	0,628
172	276,96	0,175	0,265	0,528	0,641
178	287,40	0,177	0,270	0,541	0,655
184	297,04	0,184	0,277	0,554	0,664
190	307,79	0,183	0,272	0,553	0,671
196	316,96	0,193	0,282	0,568	0,682
202	326,40	0,198	0,283	0,578	0,685
208	335,34	0,211	0,292	0,591	0,695
214	343,64	0,215	0,296	0,597	0,707
220	352,68	0,223	0,299	0,610	0,718
226	361,16	0,237	0,309	0,620	0,724
232	368,90	0,247	0,319	0,632	0,737

SÉRIE N° 79.

(26, 28 et 29 mai 1858.)

CANAL EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,05$.

Pente de $0^m,0015$ par mètre.

NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.			
		EXPÉRIENCE N° 1. Débit de $0^{mc},100$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit de $0^{mc},203$ par seconde	EXPÉRIENCE N° 3. Débit de $0^{mc},411$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit de $0^{mc},824$ par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
142	231,17	0,128	0,201	0,314	0,546
148	239,63	0,130	0,207	0,319	0,556
154	248,05	0,133	0,207	0,322	0,567
160	257,01	0,136	0,210	0,316	0,568
166	267,07	0,136	0,210	0,314	0,568
172	276,96	0,143	0,215	0,317	0,577
178	287,40	0,151	0,219	0,321	0,581
184	297,04	0,168	0,235	0,332	0,596
190	307,79	0,177	0,242	0,333	0,602
196	316,96	0,187	0,250	0,337	0,612
202	326,40	0,195	0,254	0,339	0,615
208	335,34	0,205	0,259	0,338	0,619
214	343,64	0,217	0,268	0,344	0,628
220	352,68	0,230	0,278	0,350	0,630
226	361,16	0,237	0,279	0,353	0,639
232	368,90	0,250	0,299	0,363	0,654

SÉRIE N° 80.

(11 et 13 décembre 1858.)

CANAL EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,05$.

Pente de $0^m,0059$ par mètre.

NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.			
		EXPÉRIENCE N° 1. Débit de $0^{mc},203$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit de $0^{mc},411$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit de $0^{mc},824$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit de $1^{mc},236$ par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
67	111,34	0,132	0,206	0,322	0,434
73	120,00	0,137	0,214	0,333	0,455
79	129,71	0,144	0,227	0,348	0,472
85	140,03	0,186	0,267	0,389	0,502
91	150,00	0,234	0,314	0,431	0,542
97	160,00	0,294	0,374	0,483	0,594
103	171,79	0,365	0,439	0,545	0,657
109	181,92	0,421	0,497	0,600	0,709
115	191,13	0,468	0,545	0,649	0,755

SÉRIE N° 81.

(19 mai 1858.)

CANAL EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,05$.

Pente de $0^m,0015$ par mètre.

NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.		
		EXPÉRIENCE N° 1. Débit de $0^{mc},411$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit de $0^{mc},824$ par seconde.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit de $1^{mc},236$ par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
142	231,17	0,309	0,480	0,625
148	239,63	0,311	0,483	0,622
154	248,05	0,309	0,476	0,617
160	257,01	0,307	0,470	0,610
166	267,07	0,302	0,464	0,599
172	276,96	0,300	0,460	0,594
178	287,40	0,294	0,455	0,580
184	297,04	0,295	0,450	0,578
190	307,79	0,294	0,447	0,569
196	316,96	0,291	0,434	0,560
202	326,40	0,284	0,429	0,547
208	335,34	0,272	0,415	0,527
214	343,64	0,265	0,404	0,516
220	352,68	0,255	0,383	0,486
226	361,16	0,229	0,346	0,442

SÉRIE N° 82.

(11, 12, 13, 14 et 16 août 1856.)

CANAL EN PLANCHES À FOND HORIZONTAL.

NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS D'EAU.					
		EXPÉR. N° 1. Débit de $0^{mc},100$ par seconde.	EXPÉR. N° 2. Débit de $0^{mc},203$ par seconde.	EXPÉR. N° 3. Débit de $0^{mc},411$ par seconde.	EXPÉR. N° 4. Débit de $0^{mc},618$ par seconde.	EXPÉR. N° 5. Débit de $0^{mc},824$ par seconde.	EXPÉR. N° 6. Débit de $1^{mc},030$ par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
160	257,01	0,151	0,210	0,314	0,396	0,457	0,514
166	267,07	0,158	0,222	0,318	0,397	0,457	0,514
172	276,96	0,153	0,218	0,308	0,391	0,452	0,507
178	287,40	0,147	0,207	0,302	0,374	0,437	0,491
184	297,04	0,137	0,197	0,282	0,359	0,413	0,473
190	307,79	0,137	0,197	0,279	0,354	0,410	0,464
196	316,96	0,117	0,172	0,252	0,323	0,381	0,429
202	326,40	0,100	0,155	0,232	0,303	0,353	0,406
208	335,34	0,117	0,169	0,237	0,303	0,357	0,406
214	343,64	0,095	0,146	0,215	0,277	0,320	0,373
218	349,74	0,091	0,138	0,197	0,263	0,303	0,342
221	354,22	0,054	0,089	0,130	0,179	0,213	0,241

SÉRIE N° 83.

(17-18 avril 1857.)

AQUEDUC DE CEINTURE DE PARIS.

NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de L'AQUEDUC.	PRO-FONDEURS.	ORDONNÉES de LA SURFACE.	NUMÉROS des PROFILS.	DISTANCE à l'origine de L'AQUEDUC.	PRO-FONDEURS.	ORDONNÉES de LA SURFACE.
	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.
1	0	1,489	0	21	2,000	1,158	0,311
2	100	1,345	0,021	22	2,100	1,178	0,328
3	200	1,259	0,040	23	2,200	1,142	0,351
4	300	1,463	0,048	24	2,300	1,151	0,367
5	400	1,297	0,057	25	2,400	1,112	0,397
6	500	1,337	0,062	26	2,500	1,123	0,412
7	600	1,563	0,071	27	2,600	1,115	0,454
8	700	1,622	0,077	28	2,700	1,110	0,469
9	800	1,445	0,099	29	2,800	1,112	0,500
10	900	1,325	0,124	30	2,900	1,043	0,521
11	1,000	1,348	0,121	31	3,000	0,953	0,542
12	1,100	1,385	0,134	32	3,100	0,942	0,572
13	1,200	1,395	0,144	33	3,200	1,061	0,613
14	1,300	1,405	0,150	34	3,300	0,990	0,654
15	1,400	1,320	0,174	35	3,400	0,968	0,682
16	1,500	1,275	0,200	36	3,500	0,948	0,728
17	1,600	1,232	0,237	37	3,600	0,906	0,793
18	1,700	1,222	0,261	38	3,700	0,845	0,854
19	1,800	1,210	0,274	39	3,800	0,739	0,930
20	1,900	1,190	0,290	40	3,900	0,703	1,011

Représentation graphique des expériences précédentes.

13. Reprenons la formule générale du mouvement varié :

$$(1) \qquad z = \alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g} + \int \frac{AU^2}{R} ds$$

La valeur de α a été déterminée dans le chapitre précédent; mais nous ignorons quelle doit être celle de A. Rien ne prouve, en effet, que ce coefficient soit le même que dans le cas du régime uniforme; on doit même penser, à priori, que les mouvements obliques auxquels donne lieu le changement progressif de la section modifient le coefficient A et lui font prendre des valeurs différentes suivant le point du courant que l'on considère. Il faudrait donc, si on voulait le déduire directement des données de l'expérience, partager la totalité du courant en un certain nombre d'éléments de petite longueur, pour chacun desquels on déterminerait une valeur particulière de A. L'équation (1) différentiée donne :

$$dz = \alpha \frac{UdU}{g} + \frac{AU^2}{R} ds$$

d'où

$$(2) \qquad A = \frac{R}{U^2}\left(\frac{dz}{ds} - \frac{\alpha U}{g}\frac{dU}{ds}\right)$$

En appliquant cette formule à des portions du courant dont la longueur ds soit assez petite pour que R et U puissent être considérés comme constants, on obtiendra autant de valeurs de A qu'on le voudra; mais ces valeurs présenteront inévitablement des écarts considérables, par suite des erreurs possibles sur l'évaluation de $\frac{dz}{ds}$; on comprend en effet qu'une différence de quelques millimètres sur z, erreur facile à commettre dans le nivellement d'une surface liquide, peut modifier complétement dz et, par suite, A.

Il serait donc difficile de juger, par ce procédé, de la loi suivant laquelle varie ce coefficient; on peut y parvenir plus aisément par une simple construction graphique. Calculons, à l'aide des

données de l'expérience, les valeurs de $z - \alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g}$ et de $\int \frac{U^2}{R} ds$ pour tous les points du courant qui figurent dans les tableaux précédents. Désignons, pour abréger, par Y et X ces deux quantités, et construisons une courbe qui ait pour ordonnées Y et pour abscisses X : la tangente de l'angle que forme avec l'axe des abscisses un élément de cette courbe, est

$$\frac{dY}{dX} = \frac{R}{U^2}\left(\frac{dz}{ds} - \frac{\alpha U}{g}\frac{dU}{ds}\right)$$

c'est-à-dire qu'elle n'est autre que le coefficient A. La figure de la courbe permettra donc de juger approximativement des variations de ce coefficient. Dans le cas d'un courant à régime uniforme, R, U et $\frac{dz}{ds}$ étant constants, on obtiendrait une ligne droite, ainsi qu'il était facile de le prévoir.

Cette courbe est construite, planche XXVII, pour la première et la dernière expérience de chacune des séries n°s 78, 79, 80, 81 et 83. Sauf quelques irrégularités accidentelles, principalement sensibles pour la série n° 78, elle diffère peu dans son ensemble d'une ligne droite, de telle sorte que, malgré la variation progressive de la section et du rayon moyen en chaque point, il y aurait peu d'inconvénient à attribuer à A une valeur constante; cette valeur doit, par cela même, ne pas s'éloigner beaucoup de celle qui convient au courant dans son état naturel, c'est-à-dire dans les parties où le régime n'est ni relevé ni abaissé.

Comparaison des expériences précédentes avec celles qui se rapportent au cas du régime uniforme.

14. En admettant pour un moment qu'il y ait égalité, on peut calculer à priori la pente de la surface du courant entre deux points déterminés. Considérons d'abord les séries n°s 78, 79 et 80 (remou de gonflement). Si l'on se reporte aux expériences correspondantes de la IIe partie (séries n°s 12, 15 et 16), afin d'obtenir la valeur de A pour le cas du régime uniforme, on a :

Série n° 78.	Expér. n° 1 (voir série n° 12, expér. n° 2).	A = 0,000459
	Expér. n° 2 (voir série n° 12, expér. n° 3).	A = 0,000396
	Expér. n° 3 (voir série n° 12, expér. n° 5).	A = 0,000352
	Expér. n° 4 (voir série n° 12, expér. n° 7).	A = 0,000338

Série n° 79.	Expér. n° 1 (voir série n° 15, expér. n° 1).	A = 0,001135
	Expér. n° 2 (voir série n° 15, expér. n° 2).	A = 0,000956
	Expér. n° 3 (voir série n° 15, expér. n° 3).	A = 0,000782
	Expér. n° 4 (voir série n° 15, expér. n° 5).	A = 0,000668
Série n° 80.	Expér. n° 1 (voir série n° 16, expér. n° 2).	A = 0,001138
	Expér. n° 2 (voir série n° 16, expér. n° 3).	A = 0,000942
	Expér. n° 3 (voir série n° 16, expér. n° 5).	A = 0,000824
	Expér. n° 4 (voir série n° 16, expér. n° 7).	A = 0,000773

Introduisons ces valeurs de A dans la formule du mouvement varié, en prenant pour les valeurs de $\alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g}$ et de $\int \frac{U^2}{R} ds$ celles qui ont servi à la construction des courbes de la planche XXVII, et nous obtiendrons les résultats suivants :

SÉRIE N° 78. — PENTE DE LA SURFACE ENTRE LES PROFILS N°s 142 ET 232.

	D'après l'expérience.	D'après le calcul.
Expérience n° 1	0m,132	0m,112
Expérience n° 2	0 ,153	0 ,135
Expérience n° 3	0 ,063	0 ,065
Expérience n° 4	0 ,088	0 ,089

SÉRIE N° 79. — PENTE DE LA SURFACE ENTRE LES PROFILS N°s 142 ET 232.

	D'après l'expérience.	D'après le calcul.
Expérience n° 1	0m,086	0m,106
Expérience n° 2	0 ,110	0 ,131
Expérience n° 3	0 ,159	0 ,171
Expérience n° 4	0 ,100	0 ,114

SÉRIE N° 80. — PENTE DE LA SURFACE ENTRE LES PROFILS N°s 67 ET 115.

	D'après l'expérience.	D'après le calcul.
Expérience n° 1	0m,140	0m,140
Expérience n° 2	0 ,137	0 ,137
Expérience n° 3	0 ,149	0 ,157
Expérience n° 4	0 ,155	0 ,159

Ces deux séries de valeurs diffèrent généralement peu : il faut

remarquer, du reste, que les pentes qu'il a été possible d'obtenir dans ces expériences sont bien faibles; une erreur d'un à deux centimètres sur l'ordonnée de la surface en un point donné n'a rien d'inadmissible, et dès lors les différences qui ressortent du tableau précédent ne sont pas assez grandes pour qu'il soit possible d'affirmer que la valeur de A est inférieure ou supérieure à ce qu'elle serait dans le cas du régime uniforme.

15. Passons maintenant aux expériences qui concernent le remou d'abaissement, et proposons-nous de déterminer pour la série n° 81, comme nous venons de le faire plus haut, la pente de la surface entre les profils n°s 142 et 226. La profondeur du courant varie entre ces deux points; savoir : pour l'expérience n° 1, de $0^m,31$ à $0^m,23$; pour l'expérience n° 2, de $0^m,48$ à $0^m,35$; pour l'expérience n° 3, de $0^m,62$ à $0^m,44$. Si l'on se reporte à la série n° 15, on voit que pour ces profondeurs le coefficient A prend à peu près les valeurs suivantes :

Expérience n° 1	A = 0,000830
Expérience n° 2	A = 0,000710
Expérience n° 3	A = 0,000680

Les pentes calculées à l'aide de ces données sont peu différentes des pentes réelles; on a, en effet :

	Pente d'après l'expérience.	Pente d'après le calcul.
Expérience n° 1	$0^m,274$	$0^m,278$
Expérience n° 2	0 ,328	0 ,320
Expérience n° 3	0 ,377	0 ,370

Les expériences sur un canal à fond horizontal (série n° 82) conduisent à un résultat analogue. Dans ce cas plus simple, la formule générale peut facilement s'intégrer. Reprenons-la en effet sous la forme différentielle :

$$dz = \alpha \frac{UdU}{g} + \frac{AU^2}{R} ds$$

Soient Q le débit par seconde, L la demi-largeur du canal, h la profondeur du courant; on a :

$$R = \frac{Lh}{L+h} \qquad U = \frac{Q}{2Lh} \qquad dz = -dh$$

et substituant ces valeurs dans l'expression générale, elle devient :

$$(3) \qquad \frac{AQ^2}{4L^3} ds = \frac{\frac{\alpha Q^2}{4gL^2} - h^3}{L+h} dh$$

On peut intégrer cette formule et déterminer le profil en long du courant dès que l'on connaît A. On peut également, sans avoir recours à ce calcul compliqué, appliquer simplement l'expression différentielle (3) à une portion limitée du courant, par exemple à la partie comprise entre les profils n°s 166 et 214. Les profondeurs sont en ces deux points :

	Profil amont (n° 166).	Profil aval (n° 214).	Moyenne.
Expérience n° 1.....	$0^m,158$	$0^m,095$	$0^m,1265$
Expérience n° 2.....	0 ,222	0 ,146	0 ,1840
Expérience n° 3.....	0 ,318	0 ,215	0 ,2665
Expérience n° 4.....	0 ,397	0 ,277	0 ,3370
Expérience n° 5.....	0 ,457	0 ,320	0 ,3885
Expérience n° 6.....	0 ,514	0 ,373	0 ,4435

Si l'on substitue dans l'équation (3) à la place de h les moyennes du tableau précédent, et que l'on y remplace ds par la distance des deux profils ($76^m,57$), elle donnera la pente cherchée dh dès que l'on connaîtra A. On obtiendra ce coefficient par interpolation en se reportant aux expériences sur les parois en planches, et spécialement à la série n° 9, dans laquelle la pente a été la plus petite.

Les pentes ainsi calculées sont sensiblement inférieures aux pentes observées; mais ces dernières sont trop fortes et présentent quelques incertitudes par suite de la circonstance suivante. Le plancher formant le fond du canal n'avait pas été établi suivant une ligne rigoureusement horizontale et se relevait légèrement vers l'aval; cette contre-pente pouvait s'élever à $0^m,02$ ou $0^m,03$ en to-

talité : par suite de ce défaut d'horizontalité du fond, les profondeurs du courant ne suffisent plus pour déterminer à elles seules les pentes de superficie, et il faudrait recourir au nivellement exact du fond. Ce nivellement a malheureusement été égaré. Si l'on prend pour la pente, comme nous venons de le faire, la différence des profondeurs aux deux extrémités de la section du courant que l'on considère, on lui attribue donc une valeur un peu trop forte : l'erreur peut aller jusqu'à $0^m,02$ ou $0^m,03$. Cette incertitude ne permet pas de tirer de la comparaison faite plus haut un résultat bien concluant; aussi ne nous arrêterons-nous pas davantage sur cette série.

L'expérience exécutée dans l'aqueduc de ceinture (série n° 83) ne peut fournir matière à une discussion de cette nature, puisque elle est isolée. Si l'on construit cependant comme pour les autres séries la courbe ayant pour ordonnées les valeurs de $z - \alpha \frac{U''^2 - U'^2}{2g}$ et pour abscisses celles de $\int \frac{U^2}{R} ds$, cette courbe diffère peu d'une ligne droite (voir planche XXVII). La valeur de A que l'on en déduit est voisine de 0,0004, chiffre qui peut paraître fort élevé pour un aqueduc en ciment. Cette anomalie apparente s'explique par cette circonstance que le fond et même les parois de l'aqueduc étaient recouverts d'une légère couche de vase, ce qui augmente la résistance à l'écoulement.

Expériences pour déterminer la distribution des vitesses dans le cas du remou d'abaissement.

16. Quelques expériences ont été faites pour déterminer, à l'aide du tube jaugeur, la répartition des vitesses dans le cas du remou d'abaissement. Deux séries (nos 84 et 85), comprenant chacune trois expériences en trois points différents d'un même courant (profils nos 148, 215 et 229), ont été exécutées sur le canal qui avait servi aux expériences de la série n° 81. Trois autres séries (nos 86, 87 et 88) ont eu lieu sur le canal à fond horizontal. La première comprend trois expériences faites sur ce canal aux profils nos 171, 188 et 198; les deux autres comprennent l'une cinq et l'autre sept expériences exécutées dans des conditions un peu différentes. Pour la série n° 87, le fond hori-

zontal avait été prolongé jusqu'au profil n° 258 (à $407^m,43$ de l'origine de la rigole), et l'écoulement était en outre modifié par un barrage établi à l'extrémité. Pour la série n° 88, le fond horizontal avait encore été prolongé de 26 mètres plus loin (c'est-à-dire jusqu'à $433^m,66$ de l'origine de la rigole) et la chute s'opérait librement à l'extrémité.

Les cinq séries que nous venons d'énumérer comprennent ensemble 21 expériences : quatre d'entre elles sont figurées sur la planche XXVI; ce sont les suivantes :

Série n° 84	Expérience n° 2.
Série n° 85	Expérience n° 3.
Série n° 87	Expérience n° 3.
Série n° 88	Expérience n° 1.

Les résultats de toutes ces expériences sont en outre consignés dans les tableaux ci-après.

SÉRIE N° 84. (Voir SÉRIE N° 81.)

(26 et 27 mai 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.						
	0m,90	0m,60	0m,30	0	0m,30	0m,60	0m,90
		À GAUCHE.				À DROITE.	
mèt.							
EXPÉRIENCE N° 1. (AU PROFIL N° 148.)							
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,477. — Vitesse moyenne : 0,m880.							
0,040	0,842	1,147	1,242	1,273	1,253	1,147	0,856
0,173	0,914	1,242	1,253	1,212	1,273	1,242	0,856
0,307	0,886	1,125	1,136	1,090	1,159	1,136	0,856
0,441	0,779	0,900	0,954	0,827	0,954	0,886	0,779
EXPÉRIENCE N° 2. (AU PROFIL N° 215.) — (Voir pl. XXVI, fig. 5.)							
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,403. — Vitesse moyenne : 1m,033.							
0,040	0,767	1,068	1,264	1,396	1,286	1,076	0,791
0,124	0,791	1,127	1,257	1,375	1,272	1,127	0,813
0,248	0,755	0,996	1,159	1,243	1,159	1,014	0,779
0,372	0,558	0,678	0,767	0,847	0,802	0,678	0,525
EXPÉRIENCE N° 3. (AU PROFIL N° 229.)							
Débit : 0mc,824. — Profondeur du courant : 0m,339. — Vitesse moyenne : 1m,246.							
0,040	0,811	1,124	1,291	1,368	1,311	1,119	0,811
0,104	0,913	1,178	1,291	1,316	1,301	1,168	0,947
0,209	0,863	1,048	1,173	1,168	1,168	1,060	0,900
0,314	0,605	0,702	0,762	0,794	0,746	0,674	0,595

SÉRIE N° 85. (Voir SÉRIE N° 81.)

(24 et 25 mai 1858.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.						
	0m,90	0m,60	0,m30	0	0m,30	0m,60	0m,90
		À GAUCHE.				À DROITE.	
mèt.							
EXPÉRIENCE N° 1. (AU PROFIL N° 148.)							
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,622. — Vitesse moyenne : 1m,011.							
0,050	0,783	1,109	1,231	1,231	1,231	1,117	0,783
0,190	0,808	1,254	1,223	1,192	1,247	1,247	0,831
0,380	0,940	1,184	1,125	1,036	1,117	1,176	0,930
0,570	0,678	0,820	0,820	0,733	0,759	0,796	0,665
EXPÉRIENCE N° 2. (AU PROFIL N° 215.)							
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,514. — Vitesse moyenne : 1m,218.							
0,030	0,745	1,016	1,190	1,336	1,190	1,035	0,745
0,157	0,869	1,150	1,291	1,360	1,291	1,144	0,837
0,314	0,772	1,022	1,172	1,286	1,205	1,002	0,788
0,471	0,619	0,718	0,898	0,898	0,869	0,754	0,608
EXPÉRIENCE N° 3. (AU PROFIL N° 229.) — (Voir pl. XXVI, fig. 6.)							
Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,425. — Vitesse moyenne : 1m,473.							
0,030	0,834	1,109	1,243	1,335	1,251	1,113	0,851
0,132	0,872	1,164	1,290	1,361	1,293	1,153	0,872
0,262	0,845	1,001	1,180	1,232	1,177	1,001	0,840
0,392	0,601	0,698	0,801	0,834	0,784	0,692	0,601

SÉRIE N° 86. (Voir SÉRIE N° 82.)

(11 août 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

EXPÉRIENCE N° 1. (AU PROFIL N° 171.)

Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},510. — Vitesse moyenne : 1^{m},022.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.				
	0^{m},90	0^{m},50	0	0^{m},50	0^{m},90
	À GAUCHE.			À DROITE.	
mèt.					
0,050	0,949	1,097	1,163	1,053	0,888
0,255	1,017	1,122	1,147	1,077	0,867
0,460	0,878	0,929	0,898	0,878	0,763

EXPÉRIENCE N° 2. (AU PROFIL N° 188.)

Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},466. — Vitesse moyenne : 1^{m},121.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.				
	0,^{m}94	0^{m},50	0	0^{m},50	0^{m},90
	À GAUCHE.			À DROITE.	
mèt.					
0,050	0,847	1,089	1,224	1,082	0,892
0,235	0,874	1,068	1,172	1,075	0,883
0,415	0,770	0,819	0,918	0,829	0,729

EXPÉRIENCE N° 3. (AU PROFIL N° 198.)

Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},432. — Vitesse moyenne : 1^{m},207.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.				
	0^{m},94	0^{m},50	0	0^{m},50	0^{m},94
	À GAUCHE.			À DROITE.	
mèt.					
0,050	0,837	1,107	1,211	1,057	0,907
0,216	1,005	1,089	1,155	1,058	0,978
0,382	0,852	0,906	0,943	0,861	0,795

SÉRIE N° 87. (Voir série n° 82.)

(25 et 26 septembre 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.								
	0m,95	0m,80	0m,60	0m,30	0	0m,30	0m,60	0m,80	0m,91
	à gauche.					à droite.			
mèt.									
Expérience n° 1. (au profil n° 171.) Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,751. — Vitesse moyenne : 0m,835.									
0,050	0,787	0,979	1,021	1,100	1,138	1,113	1,048	0,964	0,872
0,267	0,872	1,006	1,126	1,126	1,100	1,126	1,126	1,006	0,919
0,484	0,872	1,061	1,088	1,075	1,006	1,048	1,061	1,048	0,888
0,701	0,903	0,993	1,006	1,021	0,993	0,993	1,006	0,964	0,903
Expérience n° 2. (au profil n° 184.) Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,728. — Vitesse moyenne : 0m,846.									
0,050	0,811	0,951	1,034	1,123	1,182	1,146	1,047	0,880	0,906
0,259	0,811	1,020	1,135	1,146	1,135	1,146	1,158	1,060	0,936
0,468	0,843	1,034	1,085	1,111	1,034	1,085	1,073	1,060	0,951
0,678	0,776	0,844	0,844	0,906	0,876	0,922	0,860	0,811	0,794

Expérience n° 3. (au profil n° 198.) — (Voir pl. XXVI, fig. 7.)

Débit : 1mc,236. — Profondeur du courant : 0m,722. — Vitesse moyenne : 0m,865.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.								
	0m,94	0m,80	0m,60	0m,30	0	0m,30	0m,60	0m,80	0m,91
	à gauche.					à droite.			
mèt.									
0,050	0,841	0,985	1,061	1,121	1,156	1,133	1,061	0,971	0,856
0,257	0,825	1,024	1,121	1,121	1,189	1,144	1,121	1,050	0,930
0,465	0,873	0,998	1,011	1,037	1,061	1,050	1,037	0,985	0,826
0.672	0,759	0,809	0,759	0,793	0,810	0,841	0,759	0,724	0,667

EXPÉRIENCE N° 4. (AU PROFIL N° 218.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},697. — Vitesse moyenne : 0^{m},888.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},95	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},80	0^{m},90
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,025	//	0,934	1,034	1,126	1,170	1,092	1,022	0,920	//
0,252	0,892	1,046	1,070	1,137	1,159	1,159	1,148	1,046	0,878
0,489	0,906	1,022	1,010	1,058	1,115	1,070	0,998	0,985	0,892
0,646	0,820	0,864	0,820	0,849	0,933	0,906	0,878	0,804	0,772

EXPÉRIENCE N° 5. (AU PROFIL N° 241.)

Débit : 1^{mc},236. — Profondeur du courant : 0^{m},688. — Vitesse moyenne : 0^{m},900.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},94	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},80	0^{m} 90
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,040	//	0,946	1,032	1,133	1,164	1,143	1,044	0,984	//
0,239	0,933	1,044	1,133	1,164	1,225	1,175	1,111	1,066	0,867
0,438	0,894	0,984	1,009	1,100	1,133	1,089	1,055	1,009	0,894
0,638	0,777	0,793	0,762	0,908	0,959	0,880	0,838	0,793	0,777

SÉRIE N° 88. (Voir série n° 82.)

(30 août et 1er septembre 1856.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Profondeur au-dessous de la surface du courant.	Distances horizontales à l'axe du courant.								
	0m,94	0m,80	0m,60	0m,30	0	0,m30	0m,60	0m,80	0m,92
	à gauche.					à droite.			
mèt.									
Expérience n° 1. (au profil n° 171.) — (Voir pl. XXVI, fig. 8.									
Débit : 1mc,030. — Profondeur du courant : 0m,584. — Vitesse moyenne : 0m,894.									
0,050	0,843	0,965	1,062	1,183	1,193	1,162	1,062	0,978	0,913
0,211	0,939	1,073	1,129	1,140	1,129	1,162	1,129	1,015	0,952
0,372	0,900	1,039	1,039	1,003	1,039	1,084	1,039	1,026	0,885
0,534	0,843	0,828	0,843	0,872	0,828	0,843	0,843	0,814	0,751
Expérience n° 2. (au profil n° 183.)									
Débit : 1mc,030. — Profondeur du courant : 0m,565. — Vitesse moyenne : 0m,921.									
0,050	0,833	0,950	1,032	1,138	1,138	1,128	1,021	0,962	0,900
0,205	0,950	1,042	1,117	1,159	1,108	1,128	1,075	0,986	0,912
0,360	0,925	0,986	1,108	1,108	1,108	1,086	1,042	0,974	0,887
0,515	0,847	0,833	0,912	0,937	0,962	0,874	0,860	0,900	0,819
Expérience n° 3. (au profil n° 198.)									
Débit : 1mc,030. — Profondeur du courant : 0m,548. — Vitesse moyenne : 0m,955.									
0,050	0,868	0,961	1,057	1,174	1,182	1,117	1,047	0,951	0,868
0,196	0,939	1,057	1,126	1,136	1,164	1,164	1,108	1,026	0,903
0,342	0,961	0,995	1,015	1,077	1,077	1,117	1,047	0,995	0,879
0,488	0,868	0,916	0,939	0,995	0,916	0,939	0,879	0,843	0,803
Expérience n° 4. (au profil n° 218.)									
Débit : 1mc,030. — Profondeur du courant : 0m,512. — Vitesse moyenne : 1m,010.									
0,050	0,888	0,990	1,065	1,135	1,209	1,127	1,056	0,960	0,909
0,188	0,866	1,029	1,092	1,168	1,160	1,143	1,074	1,029	0,909
0,325	0,909	0,960	1,056	1,110	1,074	1,074	0,980	0,940	0,866
0,462	0,797	0,821	0,843	0,950	0,888	0,950	0,843	0,797	0,797

EXPÉRIENCE N° 5. (AU PROFIL N° 241.)

Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},500. — Vitesse moyenne : 1^{m},041.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},94	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0,^{m}60	0^{m},80	0^{m},90
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,050	0,872	0,961	1,034	1,109	1,173	1,150	1,025	0,951	0,862
0,184	0,807	1,034	1,118	1,165	1,196	1,165	1,133	1,034	0,912
0,317	0,922	0,998	0,988	1,093	1,126	1,093	0,988	0,980	0,892
0,450	0,872	0,818	0,872	0,932	0,980	0,961	0,851	0,862	0,818

EXPÉRIENCE N° 6. (AU PROFIL N° 259.)

Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},439. — Vitesse moyenne : 1^{m},193.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},94	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},80	0^{m},92
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,050	0,813	0,989	1,082	1,126	1,174	1,144	1,057	0,982	0,925
0,163	0,855	1,030	1,069	1,149	1,185	1,174	1,095	1,030	0,863
0,276	0,830	0,968	0,997	1,076	1,057	1,076	1,023	0,997	0,887
0,389	0,778	0,796	0,830	0,871	0,961	0,946	0,847	0,813	0,821

EXPÉRIENCE N° 7. (AU PROFIL N° 274.)

Débit : 1^{mc},030. — Profondeur du courant : 0^{m},360. — Vitesse moyenne : 1^{m},437.

PROFONDEUR au-dessous de la surface du courant.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.								
	0^{m},94	0^{m},80	0^{m},60	0^{m},30	0	0^{m},30	0^{m},60	0^{m},80	0^{m},91
	À GAUCHE.					À DROITE.			
mèt.									
0,050	0,930	1,003	1,076	1,137	1,186	1,149	1,072	1,008	0,909
0,136	0,900	1,031	1,063	1,124	1,149	1,128	1,049	1,031	0,925
0,233	0,893	0,945	0,965	1,045	1,067	1,054	0,984	0,945	0,893
0,310	0,821	0,810	0,893	0,973	0,973	0,909	0,855	0,792	0,804

17. Bien que théoriquement on doive s'attendre à trouver quelque différence dans la répartition des vitesses entre un courant à régime uniforme et un courant dont le régime varie, cependant les expériences précédentes ne conduisent à aucune différence bien marquée. Considérons d'abord les séries n°s 84 et 85 : les seules expériences sur des courants à régime uniforme auxquelles elles doivent être comparées sont les séries n°s 64, 65 et 66; il n'en existe pas d'autres, en effet, pour lesquelles la nature de la paroi (planches recouvertes de liteaux espacés de $0^m,05$) soit la même. Rapprochons les expériences dans lesquelles la profondeur du courant a été à peu près la même :

1° Profondeur de $0^m,62$ à $0^m,66$.	Série n° 85. — Expérience n° 1, profondeur..	$0^m,622$
	Série n° 64. — Expérience n° 2, profondeur..	0 ,660
2° Profondeur de $0^m,48$ à $0^m,51$.	Série n° 84. — Expérience n° 1, profondeur..	0 ,477
	Série n° 85. — Expérience n° 2, profondeur..	0 ,514
	Série n° 64. — Expérience n° 1, profondeur..	0 ,487
3° Profondeur de $0^m,38$ à $0^m,43$.	Série n° 84. — Expérience n° 2, profondeur..	0 ,403
	Série n° 85. — Expérience n° 3, profondeur..	0 ,425
	Série n° 65. — Expérience n° 4, profondeur..	0 ,412
	Série n° 66. — Expérience n° 2, profondeur..	0 ,380
4° Profondeur de $0^m,29$ à $0^m,34$.	Série n° 84. — Expérience n° 3, profondeur..	0 ,339
	Série n° 65. — Expérience n° 3, profondeur..	0 ,322
	Série n° 66. — Expérience n° 1, profondeur..	0 ,288

Comparons, pour chacun de ces quatre groupes, les vitesses à la surface dans l'axe du courant, ou du moins, comme nous

l'avons toujours fait jusqu'à présent, les rapports de ces vitesses à la vitesse moyenne :

		VITESSES À LA SURFACE.	
		Mouvement varié.	Régime uniforme.
1°	Série n° 85. — Expérience n° 1	1,231	"
	Série n° 64. — Expérience n° 2	"	1,263
	Moyennes pour le 1er groupe	1,231	1,263
2°	Série n° 84. — Expérience n° 1	1,273	"
	Série n° 85. — Expérience n° 2	1,336	"
	Série n° 64. — Expérience n° 1	"	1,359
	Moyennes pour le 2e groupe	1,305	1,359
3°	Série n° 84. — Expérience n° 2	1,396	"
	Série n° 85. — Expérience n° 3	1,335	"
	Série n° 65. — Expérience n° 4	"	1,369
	Série n° 66. — Expérience n° 2	"	1,379
	Moyennes pour le 3e groupe	1,366	1,374
4°	Série n° 84. — Expérience n° 3	1,368	"
	Série n° 65. — Expérience n° 3	"	1,414
	Série n° 66. — Expérience n° 1	"	1,301
	Moyennes pour le 4e groupe	1,368	1,357

On voit que ces vitesses sont peu différentes. Faisons le même travail de comparaison pour les vitesses au fond :

		VITESSES AU FOND.	
		Mouvement varié.	Régime uniforme.
1°	Série n° 85. — Expérience n° 1 (à $0^m,052$ du fond)	0,733	"
	Série n° 64. — Expérience n° 2 (à $0^m,030$ du fond)	"	0,768
2°	Série n° 84. — Expérience n° 1 (à $0^m,036$ du fond)	0,827	"
	Série n° 85. — Expérience n° 2 (à $0^m,043$ du fond)	0,898	"
	Série n° 64. — Expérience n° 1 (à $0^m,030$ du fond)	"	0,865
3°	Série n° 84. — Expérience n° 2 (à $0^m,031$ du fond)	0,847	"
	Série n° 85. — Expérience n° 3 (à $0^m,033$ du fond)	0,834	"
	Série n° 65. — Expérience n° 4 (à $0^m,032$ du fond)	"	0,899
	Série n° 66. — Expérience n° 2 (à $0^m,030$ du fond)	"	0,789
4°	Série n° 84. — Expérience n° 3 (à $0^m,025$ du fond)	0,794	"
	Série n° 65. — Expérience n° 3 (à $0^m,032$ du fond)	"	0,899
	Série n° 66. — Expérience n° 1 (à $0^m,030$ du fond)	"	0,789

Cette fois encore les différences sont peu considérables. Pour procéder à une semblable comparaison sur les séries n°s 86, 87 et 88, il faut se reporter aux expériences sur les parois en planches (séries n°s 58, 59 et 60); mais la comparaison devient fort difficile en raison de la différence des profondeurs, qui ne permet pas de faire un rapprochement complet. Toutefois les résultats obtenus dans le cas du mouvement varié ne paraissent pas bien différents de ceux qui avaient été obtenus dans le cas du régime uniforme. Cette similitude ne saurait certainement être complète au point de vue théorique; cependant on peut affirmer que la différence est pratiquement négligeable, lorsque l'on opère, comme nous l'avons fait, sur des courants dont le régime ne varie pas trop rapidement.

2° COURANTS DANS LESQUELS $\frac{\alpha U^2}{gh}$ EST SUPÉRIEUR À L'UNITÉ ET OÙ LE REMOU DE GONFLEMENT S'OPÈRE PAR UN RESSAUT.

18. Le phénomène du ressaut, très-rare dans les cours d'eau naturels, se produit au contraire très-fréquemment dans les canaux artificiels à parois régulières et à fortes pentes; nous avons eu occasion d'en observer dans le cours des expériences un nombre considérable. Nous nous bornerons à faire connaître ici ceux qui nous ont paru le mieux caractérisés; ils formeront sept séries dont les résultats sont groupés dans les tableaux ci-après. Ces tableaux font connaître les profondeurs du courant dans l'étendue du ressaut en partant de l'amont. L'origine du ressaut est ordinairement bien déterminée, mais son extrémité aval ne peut évidemment être fixée que d'une manière un peu arbitraire, d'autant plus qu'il présente, comme on va le voir, une physionomie assez variée, suivant les circonstances dans lesquelles il se produit.

Série n° 89. — Le remou était produit par un barrage placé à l'extrémité aval de la section de la rigole, dont la pente était de $0^m,0049$ par mètre. Ce barrage avait $0^m,606$ de hauteur pour les six premières expériences, et $0^m,404$ pour les trois dernières.

Le ressaut ne s'opérait pas d'une manière brusque; il était même généralement assez allongé, ainsi qu'on peut le voir sur la planche XXVIII.

Série n° 90. — Le barrage était encore placé au même point que pour la série précédente; mais l'écoulement, au lieu de s'opérer par-dessus, avait lieu à la partie inférieure par une ouverture rectangulaire occupant toute la largeur du canal : cette ouverture avait $0^m,105$ de hauteur pour les deux premières expériences, et $0^m,212$ pour les trois dernières. La physionomie du ressaut est un peu plus accusée que pour la série n° 89 (voir surtout les expériences n°s 1 et 3).

Série n° 91. — Le barrage était encore au même point et avait $0^m,60$ de hauteur, mais il était oblique à la direction du canal; sa longueur était de 4 mètres pour les expériences n°s 1, 2 et 3; de 3 mètres pour les expériences n°s 4, 5 et 6; de $2^m,50$ pour les expériences n°s 7, 8 et 9 (celle du barrage droit était de 2 mètres). Le ressaut est généralement plus marqué que dans les deux séries précédentes.

Série n° 92. — Le barrage perpendiculaire à l'axe du canal n'avait que $0^m,194$ de hauteur; il était établi à l'extrémité de la rigole; la pente en amont étant de $0^m,008$ par mètre, la vitesse du courant était fort grande et le ressaut extrêmement marqué.

Série n° 93. — Le ressaut n'était plus produit par la présence d'un barrage, mais par un brusque changement de pente du canal, dont l'inclinaison passait subitement de $0^m,0059$ à $0^m,0015$ par mètre. Cette circonstance a suffi pour donner naissance à un ressaut bien accusé.

Série n° 94. — Le remou était produit par un barrage placé à 433 mètres de l'origine de la rigole, dont le fond était à cette époque horizontal, depuis le profil n° 160 (à 257 mètres de l'origine) jusqu'au barrage. Cette dernière circonstance contribuait encore à accroître la hauteur du ressaut, qui est parfaitement caractérisé.

Série n° 95. — Cette série ne comprend que deux ressauts fort

remarquables observés par M. Baumgarten : le premier sur le pont aqueduc de Roquefavour (canal de Marseille), le deuxième sur le pont aqueduc de Crau (canal de Craponne) (voir planche XXVIII). Le ressaut observé à l'extrémité aval du pont de Roquefavour est dû principalement à l'élargissement brusque du canal à la suite du pont; quelques circonstances accessoires tendaient en outre à l'augmenter, savoir : l'existence d'une courbe et d'une légère contre-pente en aval, et la nature de la paroi, qui présentait à l'écoulement une résistance beaucoup plus grande que sur le pont lui-même. Le ressaut constaté à l'extrémité amont de l'aqueduc de Crau est simplement dû à un changement de pente très-brusque.

SÉRIE N° 89.

(14, 15 et 16 juillet 1856.)

NUMÉROS des profils.	DISTANCE à l'origine de la rigole.	PROFONDEURS DU COURANT.								
		EXP. N° 1. Débit de 0mc,103 par seconde.	EXP. N° 2. Débit de 0mc,209 par seconde.	EXP. N° 3. Débit de 0mc,317 par seconde.	EXP. N° 4. Débit de 0mc,424 par seconde.	EXP. N° 5. Débit de 0mc,531 par seconde.	EXP. N° 6. Débit de 0mc,637 par seconde.	EXP. N° 7. Débit de 0mc,721 par seconde.	EXP. N° 8. Débit de 0mc,824 par seconde.	EXP. N° 9. Débit de 1mc,030 par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
45	78,04	0,061	0,093	0,123	"	"	"	"	"	"
46	79,04	0,081	0,126	0,134	0,147	"	"	"	"	"
47	80,04	0,092	0,140	0,177	0,175	0,171	"	"	"	"
48	82,00	0,112	0,141	0,193	0,186	0,204	0,191	"	"	"
49	83,66	"	0,163	0,197	0,225	0,217	0,257	"	"	"
50	85,30	"	"	0,211	0,227	0,249	0,277	"	"	"
51	86,96	"	"	0,203	0,243	0,255	0,281	"	"	"
52	88,64	"	"	0,238	0,254	0,281	0,312	"	"	"
53	90,25	"	"	"	0,273	0,288	0,315	"	"	"
54	91,75	"	"	"	"	0,288	0,319	"	"	"
55	93,19	"	"	"	"	0,305	0,332	"	"	"
56	94,72	"	"	"	"	0,328	0,340	"	"	"
57	96,48	"	"	"	"	"	0,347	"	"	"
58	98,36	"	"	"	"	"	0,378	"	"	"
"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
74	121,71	"	"	"	"	"	"	0,208	0,229	"
75	123,66	"	"	"	"	"	"	0,258	0,244	0,270
76	125,66	"	"	"	"	"	"	0,270	0,291	0,356
77	127,04	"	"	"	"	"	"	0,282	0,300	0,387
78	128,34	"	"	"	"	"	"	0,324	0,332	0,382
79	129,71	"	"	"	"	"	"	0,315	0,360	0,399
80	131,71	"	"	"	"	"	"	0,317	0,353	0,395
81	133,65	"	"	"	"	"	"	0,341	0,383	0,451
82	135,65	"	"	"	"	"	"	0,360	"	"

SÉRIE N° 90.

(22 et 23 juillet 1856.)

NUMÉROS des profils.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.				
		EXPÉR. N° 1. — Débit de 0^{mc},307 par seconde.	EXPÉR. N° 2. — Débit de 0^{mc},515 par seconde.	EXPÉR. N° 3. — Débit de 0^{mc},721 par seconde.	EXPÉR. N° 4. — Débit de 0^{mc},927 par seconde.	EXPÉR. N° 5. — Débit de 1^{mc},030 par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
53	90,25	"	"	"	"	0,262
54	91,75	"	"	"	"	0,345
55	93,19	"	"	"	"	0,376
56	94,72	"	0 158	"	"	0,398
57	96,48	"	0,216	"	"	0,390
58	98,36	"	0,244	"	"	0,432
59	100,00	"	0,275	"	"	0,436
60	101,59	"	0,303	"	"	0,465
61	103,15	"	"	"	"	0,482
"	"	"	"	"	"	"
69	113,99	"	"	"	0,243	"
70	115,34	"	"	"	0,258	"
71	116,68	"	"	"	0,315	"
72	118,34	"	"	"	0,332	"
73	120,00	"	"	"	0,348	"
74	121,71	"	"	"	0,369	"
75	123,66	"	"	"	0,397	"
"	"	"	"	"	"	"
97	160,00	"	"	0,204	"	"
98	162,10	"	"	0,302	"	"
99	164,10	"	"	"	"	"
100	166,10	0,129	"	"	"	"
101	168,02	0,179	"	"	"	"

SÉRIE N° 91.

(25 juillet, 11, 13 et 16 août 1856.)

NUMÉROS des profils.	DISTANCE à l'origine de la rigole.	PROFONDEURS DU COURANT.								
		EXP. N° 1. Débit de 0mc,637 par seconde.	EXP. N° 2. Débit de 0mc,850 par seconde.	EXP. N° 3. Débit de 1mc,030 par seconde.	EXP. N° 4. Débit de 0mc,618 par seconde.	EXP. N° 5. Débit de 0mc,824 par seconde.	EXP. N° 6. Débit de 1mc,030 par seconde.	EXP. N° 7. Débit de 0mc,618 par seconde.	EXP. N° 8. Débit de 0mc,824 par seconde.	EXP. N° 9. Débit de 1mc,030 par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
52	88,64	"	"	"	"	"	"	0,197	"	"
53	90,25	"	"	"	"	"	"	0,242	0,233	"
54	91,75	"	"	"	0,194	"	"	0,252	0,269	0,268
55	93,19	"	"	"	0,260	"	"	0,293	0,307	0,376
56	94,72	"	"	"	0,277	0,219	"	"	0,352	"
57	96,48	"	"	"	0,293	0,251	"	"	"	"
58	98,36	"	"	"	"	0,301	"	"	"	"
59	100,00	"	"	"	"	0,312	0,266	"	"	"
60	101,59	0,185	0,229	"	"	0,343	0,387	"	"	"
61	103,15	0,308	0,267	"	"	0,364	"	"	"	"
62	104,74	"	0,300	0,250	"	"	"	"	"	"
63	106,04	"	0,341	0,296	"	"	"	"	"	"
64	107,34	"	0,370	0,354	"	"	"	"	"	"
65	108,70	"	"	0,425	"	"	"	"	"	"

SÉRIE N° 92.

(29 août, 1er, 2 et 3 septembre 1856.)

NUMÉROS des profils.	DISTANCE à l'origine de la rigole.	PROFONDEURS DU COURANT.							
		EXP. N° 1. Débit de 0mc,307 par seconde.	EXP. N° 2. Débit de 0mc,515 par seconde.	EXP. N° 3. Débit de 0mc,721 par seconde.	EXP. N° 4. Débit de 0mc,824 par seconde.	EXP. N° 5. Débit de 0mc,927 par seconde.	EXP. N° 6. Debit de 1mc,030 par seconde.	EXP. N° 7. Debit de 1mc,133 par seconde.	EXP. N° 8. Débit de 1mc,236 par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
378	580,47	0,090	"	"	"	"	"	"	"
379	581,87	0,180	"	"	"	"	"	"	"
380	583,37	0,192	0,127	"	"	"	"	"	"
381	585,04	0,224	0,219	"	"	"	"	"	"
382	586,45	"	0,285	"	"	"	"	"	"
383	588,15	"	"	0,174	0,186	"	"	"	"
384	589,78	"	"	0,342	0,206	"	"	"	"
385	591,26	"	"	"	0,328	0,209	0,203	"	"
386	592,62	"	"	"	0,377	0,361	0,434	0,241	0,261
387	594,08	"	"	"	"	0,385	"	0,447	0,499
388	595,48	"	"	"	"	0,450	"	"	"

SÉRIE N° 93.

(22, 23, 27, 28 et 29 avril 1858.)

NUMÉROS des profils.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.							
		EXP. N° 1. Débit de 0mc,515 par seconde.	EXP. N° 2. Débit de 0mc,618 par seconde.	EXP. N° 3. Débit de 0mc,721 par seconde.	EXP. N° 4. Débit de 0mc,824 par seconde.	EXP. N° 5. Débit de 0mc,927 par seconde.	EXP. N° 6. Débit de 1mc,030 par seconde.	EXP. N° 7. Débit de 1mc,133 par seconde.	EXP. N° 8. Débit de 1mc,236 par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
121	200,00	0,162	0,171	0,190	0,208	0,221	0,240	0,255	0,270
122	201,53	0,232	0,265	0,307	0,353	0,361	0,405	0,427	0,449
123	202,91	0,297	0,288	0,353	0,382	0,422	0,430	0,458	0,427
124	204,35	0,299	0,337	"	0,432	"	"	"	0,456
125	205,80	0,315	0,357	"	"	"	"	"	0,510
126	207,22	0,334	"	"	"	"	"	"	0,538

SÉRIE N° 94.

(22 et 23 octobre 1856.)

NUMÉROS des profils.	DISTANCE à l'origine de LA RIGOLE.	PROFONDEURS DU COURANT.					
		EXPÉR. N° 1. Déb. de 0mc,515 par seconde.	EXPÉR. N° 2. Déb. de 0mc,618 par seconde.	EXPÉR. N° 3. Déb. de 0mc,721 par seconde.	EXPÉR. N° 4. Déb. de 0mc,824 par seconde.	EXPÉR. N° 5. Déb. de 0mc,927 par seconde.	EXPÉR. N° 6. Déb. de 1mc,236 par seconde.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
97	160,00	"	"	"	"	"	0,264
98	162,10	"	"	"	"	"	0,398
99	164,10	"	"	"	"	"	0,472
100	166,10	"	"	"	"	"	0,527
"	"	"	"	"	"	"	"
108	180,00	"	"	0,191	0,208	0,232	"
109	181,92	"	0,179	0,299	0,332	0,360	"
110	183,82	0,160	0,243	"	"	"	"
111	185,62	0,222	"	"	"	"	"
114	189,67	0,259	0,308	0,352	0,380	0,428	"
121	200,00	0,332	0,383	0,417	0,457	0,508	"

SÉRIE N° 95.

(17 et 23 mai 1855.)

EXPÉRIENCE N° 1.			EXPÉRIENCE N° 2.		
NUMÉROS des profils	DISTANCE au profil n° 1.	PROFONDEURS du courant.	NUMÉROS des profils.	DISTANCE au profil n° 1.	PROFONDEURS du courant.
	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.
3	23,36	0,790	5	73,50	0,430
4	25,36	0,848	6	75,00	0,560
5	27,46	1,017	7	76,50	0,915

Caractères généraux du ressaut.

19. Le ressaut a été signalé pour la première fois par Bidone[1]; mais il s'en faut de beaucoup que l'observation de ce phénomène soit susceptible d'autant de précision qu'on pourrait le croire à la lecture de son mémoire. Lorsque $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est peu supérieur à l'unité, le ressaut est fort allongé et présente l'aspect d'une simple contrepente couverte d'ondulations. Ce cas est celui des séries n°s 89, 90 et 91, dans lesquelles $\frac{\alpha U^2}{gh}$ est compris entre 1,20 et 1,80. A mesure que cette quantité augmente, on voit le ressaut se raccourcir, et l'on finit par obtenir, comme Bidone, un relèvement à peu près subit de la surface. La série n° 92, dans laquelle $\frac{\alpha U^2}{gh}$ était compris entre 2,30 et 3,50, en fournit plusieurs exemples remarquables. (Pour les petits canaux dont s'est servi Bidone, $\frac{\alpha U^2}{gh}$ variait de 4 à 5.)

Le ressaut est suivi de fortes ondulations qui rendent impossible tout nivellement exact de sa surface. Ces ondulations conservent une position à peu près fixe. M. Baumgarten a relevé aussi exactement que possible leur distance et leur hauteur sur les ponts de Roquefavour et de Crau (voir série n° 95, pl. XXVIII). On voit qu'elles se prolongeaient, sur le pont de Roquefavour, sur plus de 50 mètres de longueur; sur le pont de Crau, où le ressaut était très-violent, ces ondulations étaient extrêmement fortes, le détail en est indiqué à une grande échelle; elles étaient beaucoup plus élevées au milieu du courant que sur les bords. Cette remarque est générale : il existe toujours dans l'axe du courant une protubérance plus élevée que le long des parois; le ressaut lui-même affecte la forme d'un arc dont la concavité est tournée vers l'amont.

Il est donc impossible d'obtenir, au milieu de l'agitation de l'eau, une évaluation exacte de la hauteur du ressaut; lorsqu'il est bien accusé, c'est-à-dire lorsque $\frac{\alpha U^2}{gh}$ dépasse 2, il ne présente plus à l'œil que l'aspect d'une barre d'écume bouillonnant avec

[1] *Mémoires de l'académie de Turin*, t. XXV, 1820.

violence; sa hauteur et même sa position dans le canal sont soumises à une fluctuation incessante, au milieu de laquelle on ne peut songer à une mesure précise de la profondeur du courant.

Comparaison des hauteurs observées et des hauteurs calculées.

20. Si l'on essaye d'appliquer à la portion du courant qui comprend le ressaut la formule du mouvement varié, on a :

$$H = \alpha \frac{U^2 - U'^2}{2g} - \varphi$$

H étant la hauteur verticale du ressaut, U et U′ les vitesses moyennes avant et après, φ la perte de hauteur due au frottement du lit et aux mouvements tumultueux du liquide. Nous allons calculer pour les expériences précédentes les valeurs du terme $\alpha \frac{U^2 - U'^2}{2g}$ et les comparer aux hauteurs H fournies par l'observation directe. Désignons par h et h' les profondeurs avant et après le ressaut, par i la pente absolue du fond dans cet intervalle, on a,

$$H = h' - h - i$$

Les parois du canal étant fort unies pour toutes les expériences, nous ferons $\alpha = 1{,}05$.

NUMÉROS des expériences.	PROFONDEUR avant le ressaut h	PROFONDEUR à l'extrémité aval du ressaut h'	PENTE du fond dans l'étendue du ressaut i	$\frac{U^2}{2g}$	$\frac{U'^2}{2g}$	$\alpha \frac{(U^2 - U'^2)}{2g}$	HAUTEUR verticale du ressaut $H = h' - h - i$
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
			SÉRIE N° 89.				
1	0,061	0,112	0,020	0,036	0,011	0,026	0,031
2	0,093	0,163	0,028	0,064	0,021	0,045	0,042
3	0,123	0,238	0,053	0,085	0,023	0,065	0,062
4	0,147	0,273	0,056	0,106	0,031	0,079	0,070
5	0,171	0,328	0,073	0,123	0,033	0,094	0,084
6	0,191	0,378	0,082	0,142	0,036	0,111	0,105
7	0,208	0,360	0,075	0,153	0,051	0,107	0,077
8	0,229	0,383	0,065	0,165	0,059	0,111	0,089
9	0,270	0,451	0,055	0,185	0,067	0,124	0,126

NUMÉROS des expériences.	PROFONDEUR avant le ressaut h	PROFONDEUR à l'extrémité aval du ressaut h'	PENTE du fond dans l'étendue du ressaut i	$\frac{U^2}{2g}$	$\frac{U'^2}{2g}$	$\alpha\frac{(U^2-U'^2)}{2g}$	HAUTEUR verticale du ressaut $H=h'-h-i$
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
			SÉRIE N° 90.				
1	0,129	0,179	0,010	0,072	0,038	0,036	0,040
2	0,158	0,303	0,034	0,135	0,037	0,103	0,111
3	0,204	0,302	0,010	0,159	0,073	0,090	0,088
4	0,243	0,397	0,048	0,185	0,069	0,122	0,106
5	0,262	0,482	0,065	0,197	0,058	0,146	0,155
			SÉRIE N° 91.				
1	0,185	0,308	0,008	0,151	0,055	0,101	0,115
2	0,229	0,370	0,029	0,176	0,067	0,114	0,112
3	0,250	0,425	0,020	0,216	0,075	0,148	0,155
4	0,194	0,293	0,024	0,129	0,057	0,076	0,075
5	0,219	0,364	0,042	0,181	0,065	0,122	0,103
6	0,266	0,387	0,008	0,191	0,090	0,106	0,113
7	0,197	0,293	0,023	0,126	0,057	0,072	0,073
8	0,233	0,352	0,023	0,159	0,070	0,093	0,096
9	0,268	0,376	0,007	0,188	0,096	0,097	0,101
			SÉRIE N° 92.				
1	0,090	0,224	0,039	0,148	0,024	0,130	0,095
2	0,127	0,285	0,025	0,210	0,042	0,176	0,133
3	0,174	0,342	0,014	0,219	0,057	0,170	0,154
4	0,186	0,377	0,036	0,250	0,061	0,198	0,155
5	0,209	0,450	0,035	0,251	0,054	0,207	0,206
6	0,213	0,434	0,012	0,298	0,072	0,237	0,209
7	0,241	0,447	0,012	0,282	0,082	0,210	0,194
8	0,261	0,499	0,012	0,286	0,078	0,218	0,226
			SÉRIE N° 93.				
1	0,162	0,334	0,053	0,129	0,030	0,104	0,119
2	0,171	0,357	0,049	0,166	0,038	0,134	0,137
3	0,190	0,353	0,030	0,183	0,053	0,136	0,133
4	0,208	0,432	0,046	0,200	0,046	0,162	0,178
5	0,221	0,422	0,030	0,224	0,061	0,171	0,171
6	0,240	0,430	0,030	0,235	0,073	0,170	0,160
7	0,255	0,458	0,030	0,252	0,078	0,183	0,173
8	0,270	0,538	0,053	0,267	0,067	0,210	0,215
			SÉRIE N° 94.				
1	0,160	0,332	0,081	0,132	0,031	0,106	0,091
2	0,179	0,383	0,090	0,152	0,033	0,125	0,114
3	0,191	0,417	0,100	0,182	0,038	0,151	0,126
4	0,208	0,457	0,100	0,200	0,041	0,167	0,149
5	0,232	0,508	0,100	0,204	0,042	0,170	0,176
6	0,264	0,527	0,028	0,279	0,070	0,219	0,235
			SÉRIE N° 95.				
1	0,790	1,017	0,015	0,456	0,270	0,195	0,212
2	0,430	0,915	0,036	0,681	0,150	0,558	0,449

21. La hauteur H du ressaut devrait toujours être inférieure à $\alpha\frac{U^2-U'^2}{2g}$; on voit cependant qu'elle est quelquefois plus grande dans le tableau précédent; ces anomalies doivent être attribuées aux erreurs de nivellement qu'entraîne l'extrême agitation du liquide. La perte de hauteur que nous avons désignée par φ se compose de deux parties bien distinctes : l'une provient du frottement du lit, et l'autre des mouvements intérieurs du liquide. Lorsque le ressaut est très-allongé, le changement de section ne s'opérant pas brusquement, la hauteur perdue par suite de l'agitation de l'eau est négligeable, et φ représente presque uniquement le frottement du lit, dont l'action est elle-même peu importante; aussi ne constate-t-on, pour les séries n°s 89, 90 et 91, que des différences insignifiantes entre les valeurs calculées de H et les valeurs déduites de l'observation. Lorsque, au contraire, le ressaut est très-brusque et s'opère sur une petite longueur, les frottements du lit deviennent tout à fait négligeables, mais la perte due au changement subit de section devient considérable. Ce cas se rencontre dans la série n° 92 et dans la deuxième expérience de la série n° 95, et l'on peut voir qu'en effet les hauteurs observées sont inférieures de plusieurs centimètres aux hauteurs calculées. La différence s'élève à $0^m,11$ pour le ressaut remarquable observé sur le pont aqueduc de Crau.

Il faut se borner à ces considérations générales, l'incertitude de l'observation rendant impossible toute comparaison précise entre le calcul et l'expérience. Mais si l'on s'éloigne du ressaut proprement dit, et que l'on considère la courbe légèrement convexe qu'affecte le courant jusqu'au barrage, l'agitation de l'eau se calmant progressivement à mesure que l'on descend vers l'aval, on doit obtenir des résultats plus conformes aux indications de la théorie. Cette nouvelle comparaison n'est possible que sur les séries n°s 89 et 91, dans lesquelles le remou avait une grande longueur. Déterminons, à l'aide des données renfermées dans l'Appendice, la cote de nivellement pour chaque profil entre deux

points situés, le premier à 10 mètres, le second à 30 mètres en amont du barrage. La moyenne de ces cotes sera fort exactement celle d'un point situé à 20 mètres du barrage. Soit h'' la profondeur que l'on déduit de ce calcul, et U'' la vitesse moyenne correspondante : si l'on détermine comme plus haut la quantité $\alpha\frac{U^2-U''^2}{2g}$, U étant toujours la vitesse à l'origine du ressaut, on obtient les résultats suivants :

NUMÉROS des profils.	PROFONDEUR avant le ressaut h	PROFONDEUR à l'extrémité aval du ressaut h''	PENTE du fond dans l'étendue du ressaut i	$\frac{U^2}{2g}$	$\frac{U''^2}{2g}$	$\alpha\frac{(U^2-U''^2)}{2g}$	HAUTEUR verticale du ressaut $H=h''-h-i$
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
			SÉRIE N° 89.				
1	0,061	0,597	0,498	0,036	0,0003	0,038	0,038
2	0,093	0,649	0,498	0,064	0,001	0,066	0,058
3	0,123	0,695	0,498	0,085	0,003	0,086	0,074
4	0,147	0,724	0,492	0,106	0,004	0,107	0,085
5	0,171	0,745	0,487	0,123	0,006	0,123	0,087
6	0,191	0,776	0,477	0,142	0,009	0,140	0,108
7	0,208	0,612	0,288	0,153	0,018	0,142	0,116
8	0,229	0,629	0,288	0,165	0,022	0,150	0,112
9	0,270	0,690	0,277	0,185	0,028	0,165	0,143
			SÉRIE N° 91.				
1	0,185	0,700	0,382	0,151	0,011	0,147	0,133
2	0,229	0,744	0,382	0,176	0,017	0,167	0,133
3	0,250	0,764	0,366	0,216	0,023	0,203	0,148
4	0,194	0,710	0,433	0,139	0,010	0,125	0,083
5	0,219	0,746	0,416	0,181	0,016	0,173	0,111
6	0,266	0,793	0,390	0,191	0,022	0,177	0,137
7	0,197	0,729	0,447	0,126	0,009	0,123	0,085
8	0,233	0,778	0,440	0,159	0,014	0,152	0,105
9	0,268	0,823	0,432	0,188	0,020	0,176	0,123

La hauteur H est cette fois, comme l'on devait s'y attendre, notablement inférieure à $\frac{U^2-U''^2}{2g}$; la différence de ces deux quantités est la hauteur perdue par suite des résistances de tout genre

entre les deux points du courant que l'on considère. Si l'on connaissait avec précision la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ qui doit être appliquée dans ce cas, on pourrait déterminer par le calcul l'action des frottements contre la paroi, et en déduire ensuite par différence celle des mouvements intérieurs du liquide; mais il règne trop d'incertitude sur la valeur de ce coefficient pour que ce calcul puisse être entrepris avec quelque chance de succès.

Ressaut d'abaissement.

22. On a vu dans le chapitre précédent que, si dans un canal remplissant les conditions nécessaires à la production du ressaut, le niveau de la surface du courant se trouve abaissé, la formule générale du mouvement varié n'indique plus rien, ce qui donne lieu de penser que l'abaissement de la surface doit s'opérer par une chute brusque sans raccordement curviligne en amont. Ce phénomène, que l'on peut désigner sous le nom de *ressaut d'abaissement,* s'est en effet produit plusieurs fois dans le cours des expériences. La figure 16, planche XXVIII, en fournit un exemple. Le canal en ciment établi dans la partie supérieure de la rigole se terminait à $135^m,65$ de l'origine par une chute brusque; on voit, en comparant les profondeurs successives du courant, qu'aucun abaissement de la surface ne se manifeste en amont. La figure présente, par une coïncidence assez remarquable, les deux espèces de ressauts réunis. Le ressaut d'abaissement ne peut pas par sa nature donner lieu à des considérations théoriques analogues à celles que nous avons présentées plus haut. Il suffit seulement de constater son existence, ce qui ne paraît pas avoir été fait jusqu'à présent par d'autres observateurs. L'absence de toute dépression en amont de la chute est d'ailleurs une propriété remarquable, qu'il peut être utile de connaître dans plusieurs circonstances.

NOTE A.

EXPÉRIENCES FAITES EN 1856 ET 1860 POUR APPRÉCIER L'INFLUENCE DES PERTES PAR INFILTRATION DANS LA RIGOLE.

Les premières expériences destinées à apprécier l'influence des pertes par infiltration dans la rigole ont eu lieu au commencement de 1856; elles ont été renouvelées en 1860. A l'extrémité de chacune des deux pentes de 0,0049 et 0,002 (voir planche I, fig. 1 et 2), on établit un barrage bien étanche; on remplit ensuite la rigole à la plus grande hauteur possible, et l'on observa l'abaissement graduel du niveau de l'eau derrière chacun des deux barrages (voir les tableaux ci-après). On fut ainsi conduit à une vérification remarquable de la loi de l'écoulement à travers les sables, déduite par M. Darcy d'expériences exécutées peu de temps avant à Dijon, avec le concours de M. l'ingénieur Ritter[1]. Cette loi peut s'énoncer ainsi : le volume débité à travers une couche de sable de même nature est proportionnel à la charge et en raison inverse de l'épaisseur de la couche. Désignons (voir planche IV, fig. 13) par,

H la profondeur contre le barrage;

l la largeur de la rigole;

i la pente du fond;

α un coefficient constant proportionnel à la perte qui se produit à travers les parois de la rigole supposées homogènes; ce coefficient représente, à proprement parler, le volume qui se perd pendant l'unité de temps à travers une surface d'un mètre carré et sous une charge d'un mètre.

Considérons dans le liquide une tranche horizontale infiniment mince ab, dont la hauteur au-dessus du pied du barrage soit h; le volume que cette tranche perd par infiltration pendant l'intervalle de temps dt est, savoir :

par les parois latérales, $\frac{2\alpha h(H-h)}{i}dhdt$

par le fond en a, $\frac{\alpha l(H-h)}{i}dhdt$

perte totale de la tranche, $\frac{\alpha(H-h)(l+2h)}{i}dhdt$

[1] *Les fontaines publiques de la ville de Dijon*, 1856, p. 590 et suiv.

Intégrant par rapport à h entre les limites o et H, on aura pour la perte P qui s'opère dans toute la rigole,

$$P = \frac{\alpha H^2}{i}\left(\frac{l}{2} + \frac{H}{3}\right) dt$$

La surface de la nappe liquide étant $\frac{lH}{i}$, on a aussi,

$$P = -\frac{lH}{i} dH$$

Égalant ces deux expressions, il vient,

$$dH = -\alpha\left(\frac{H}{2} + \frac{H^2}{3l}\right) dt$$

ou, intégrant et désignant par C une constante,

$$\log\left(1 + \frac{3l}{2H}\right) = C + \tfrac{1}{2}\alpha t$$

Le logarithme qui figure dans cette expression est pris dans le système népérien. Si l'on veut se servir des logarithmes vulgaires, il faut multiplier par le module 0,43429, et l'équation devient,

$$\log\left(1 + \frac{3l}{2H}\right) = C + 0{,}21714\,\alpha t$$

Les valeurs de C et de α sont faciles à déterminer. Désignons par T la durée totale de l'expérience, par H_1 et H_2 les hauteurs d'eau au commencement et à la fin, on a,

$$\log\left(1 + \frac{3l}{2H_1}\right) = C$$

$$\log\left(1 + \frac{3l}{2H_2}\right) = C + 0{,}21714\,\alpha T$$

expressions qui font connaître C et α.

Appliquons cette formule aux deux expériences rapportées dans les tableaux ci-après. Les données sont :

Pour la pente de 0,0049....	$H_1 = 0^m{,}904$...	$H_2 = 0^m{,}225$...	$T = 136$
Pour la pente de 0,002.....	$H_1 = 0^m{,}480$...	$H_2 = 0^m{,}075$...	$T = 40$

(L'unité de temps adoptée étant l'heure); on en déduit :

Pour la pente de 0,0049.....	$C = 0{,}63534$...	$\alpha = 0{,}01764$
Pour la pente de 0,002.....	$C = 0{,}86034$...	$\alpha = 0{,}08663$

Le tableau suivant indique, en regard des hauteurs observées, les hauteurs calculées à l'aide de la formule; on voit que l'accord est aussi satisfaisant qu'on peut le désirer.

EXPÉRIENCE SUR LES PERTES PAR INFILTRATION DE LA RIGOLE DANS LA PENTE DE 0,0049.

(8-14 février 1856.)

DATES ET HEURES de L'OBSERVATION.	HAUTEURS DE L'EAU CONTRE LE BARRAGE. D'après l'observation.	D'après le calcul.	DATES ET HEURES de L'OBSERVATION.	HAUTEURS DE L'EAU CONTRE LE BARRAGE. D'après l'observation.	D'après le calcul.
	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.
8 févr. 7h du soir....	0,904	0,904	11 févr. 5h du soir....	0,441	0,428
9h.....	0,883	0,884	9h.....	0,421	0,411
9 févr. 1h du matin..	0,851	0,844	12 févr. 1h du matin..	0,402	0,395
5h.....	0,819	0,807	5h 30'.....	0,384	0,378
9h.....	0,792	0,772	9h.....	0,370	0,365
1h du soir....	0,761	0,739	1h du soir....	0,361	0,351
5h.....	0,733	0,707	5h.....	0,348	0,337
9h.....	0,717	0,677	9h.....	0,335	0,324
10 févr. 1h 45' du mat.	0,676	0,643	13 févr. 1h du matin..	0,319	0,312
5h 15'.....	0,652	0,620	5h.....	0,305	0,300
9h.....	0,624	0,595	9h.....	0,293	0,288
1h du soir....	0,596	0,571	1h du soir....	0,282	0,278
5h.....	0,560	0,547	5h.....	0,272	0,267
9h.....	0,543	0,525	10h.....	0,261	0,255
11 févr. 1h 15' du mat.	0,521	0,503	14 févr. 1h du matin..	0,253	0,248
5h.....	0,500	0,484	5h.....	0,240	0,238
9h.....	0,478	0,464	9h 15'.....	0,230	0,229
1h du soir....	0,461	0,446	11h.....	0,225	0,225

EXPÉRIENCE SUR LES PERTES PAR INFILTRATION DE LA RIGOLE DANS LA PENTE DE 0,002.
(14-16 mars 1856.)

DATES ET HEURES de L'OBSERVATION.	HAUTEURS DE L'EAU CONTRE LE BARRAGE. D'après l'observation.	D'après le calcul.	DATES ET HEURES de L'OBSERVATION.	HAUTEURS DE L'EAU CONTRE LE BARRAGE. D'après l'observation.	D'après le calcul.
	mèt.			mèt.	mèt.
14 mars. 4h 10′ du soir.	0,882	Jusqu'au 15 mars, à 4h du matin, l'eau couvrait encore une partie de la pente de 0,0049.	15 mars. 4h	0,263	0,268
6h 5′	0,783		6h 15′	0,243	0,241
8h	0,702		8h du soir....	0,225	0,222
Minuit.....	0,580		Minuit.....	0,186	0,185
15 mars. 4h du matin..	0,480	0,480	16 mars. 4h du matin..	0,160	0,154
6h	0,430	0,434	8h	0,140	0,128
8h	0,390	0,394	Midi	0,118	0,107
10h	0,354	0,357	4h	0,100	0,090
Midi.....	0,320	0,324	8h	0,075	0,075
2h du soir....	0,290	0,295			

Revenons à l'objet principal de ces expériences, et recherchons de combien les pertes par infiltration pouvaient diminuer le débit des courants que l'on établissait dans la rigole. Il est facile de voir, d'après les considérations précédentes, qu'une partie de cette rigole, dont la longueur serait L, et dans laquelle la profondeur supposée uniforme serait h, perdrait par seconde un volume d'eau égal à $\frac{\alpha h(h+l)L}{3600}$. Si l'on substitue dans cette expression les données relatives à chacune des deux pentes de 0,0049 et 0,002, en supposant successivement $h = 0^m,10$ et $h = 0^m,50$, limites entre lesquelles était ordinairement comprise la profondeur du courant, on obtient les résultats suivants :

Pente de 0,0049 . . { Perte totale par seconde pour une hauteur d'eau de $0^m,10 = 0^{lit},2$
Perte totale par seconde pour une hauteur d'eau de $0,50 = 1,2$

Pente de 0,002 . . . { Perte totale par seconde pour une hauteur d'eau de $0,10 = 1,3$
Perte totale par seconde pour une hauteur d'eau de $0,50 = 7,5$

En parvenant à l'extrémité inférieure de la pente de 0,002, le débit du courant se trouvait donc réduit de $1^{lit},5$ par seconde pour une profondeur de $0^m,10$, et de $8^{lit},7$ pour une profondeur de $0^m,50$.

On a opéré fort rarement sur la pente de 0,0084; sa perméabilité était à peu près la même que celle de la pente de 0,002; la profondeur h du courant y étant toujours très-faible, les pertes devaient y être très-peu importantes, et les chiffres précédents, dans le cas où l'on voudrait en tenir compte, seraient peu augmentés. Si l'on se reporte aux tableaux d'expériences qui indiquent les profondeurs du courant pour chaque débit, il est facile de voir que cette perte, hormis quelques cas fort rares, serait inférieure à un centième du débit total.

Mais cette évaluation est elle-même fort exagérée; les expériences que nous venons de rapporter ont été faites quelques mois après la construction de la rigole, qui avait eu lieu pendant l'été de 1855. Les pertes se sont étanchées spontanément et ont toujours été en diminuant. Voulant, en 1860, nous en assurer par une comparaison directe, nous fîmes refaire deux nouvelles expériences identiques à celles de février et mars 1856 : elles indiquèrent une perte beaucoup moindre.

EXPÉRIENCE SUR LES PERTES PAR INFILTRATION DE LA RIGOLE dans la pente de 0,0049. (13-14 janvier 1860.)		EXPÉRIENCE SUR LES PERTES PAR INFILTRATION DE LA RIGOLE dans la pente de 0,002. (10-11 février 1860.)	
DATES ET HEURES de L'OBSERVATION.	HAUTEURS DE L'EAU contre le barrage.	DATES ET HEURES de L'OBSERVATION.	HAUTEURS DE L'EAU contre le barrage.
	mèt.		mèt.
13 janvier. 8h du soir.....	0,900	10 février. 5h du soir.....	0,833
Minuit.....	0,880	6h.....	0,810
14 janvier. 4h du matin.....	0,865	7h.....	0,788
7h.....	0,851	8h.....	0,767
10h.....	0,835	9h.....	0,748
2h du soir.....	0,821	10h.....	0,733
4h.....	0,815	11 février. 7h du matin.....	0,619
8h.....	0,809	9h.....	0,605

1° Pente de 0,0049. — L'abaissement en 24 heures, à partir de la hauteur $0^m,90$ était, en 1856, de $0^m,18$; en 1860, il n'était plus que de $0^m,09$.

2° Pente de 0,002. — L'abaissement en 12 heures, à partir de la hauteur $0^m,79$, était, en 1856, de $0^m,35$; il était réduit, en 1860, à $0^m,17$.

Les pertes n'étaient donc plus, après que la rigole eut fonctionné pendant quatre années, que la moitié de ce qu'elles étaient au début. Il faut remarquer, en outre, que le fond de la rigole a presque toujours été recouvert de doubles planchers, qui devaient encore en augmenter l'étanchéité.

L'influence des pertes était inappréciable, et il n'en a pas été tenu compte dans les calculs, que cette considération aurait d'ailleurs singulièrement compliqués.

NOTE B.

COEFFICIENT DE TARAGE DU TUBE JAUGEUR.

Le coefficient de tarage du tube jaugeur varie notablement avec la figure et la disposition des ajutages. M. l'ingénieur en chef Baumgarten, qui s'est occupé, à la prière de M. Darcy, des détails de construction de cet instrument, a déterminé, en 1855, la valeur du coefficient pour trois dispositions différentes. Il a opéré tantôt dans un courant, en comparant les indications du tube à celles des flotteurs; tantôt dans une eau tranquille, en y faisant mouvoir le tube avec une vitesse connue. Les deux ajutages étaient terminés par un trou d'un millimètre d'ouverture. Il a obtenu les résultats suivants :

DISPOSITION DES AJUTAGES.	VALEUR du COEFFICIENT de tarage.	OBSERVATIONS.
1° Le premier ajutage étant dirigé contre le courant et le deuxième à angle droit.....	0,848	à l'aide des flotteurs.
	0,797	dans une eau tranquille.
2° Les deux ajutages étant dirigés contre le courant, mais l'un d'eux fermé par le bout et percé latéralement d'une ouverture d'un millimètre.....	0,875	à l'aide des flotteurs.
	0,864	dans une eau tranquille.
3° Le premier ajutage étant dirigé contre le courant et le deuxième dans le sens du courant et dans le fil de l'eau.....	0,998	à l'aide des flotteurs.
	0,991	dans une eau tranquille.

Les vitesses ont varié dans des limites fort étendues, et la valeur de chacun de ces coefficients résulte de la moyenne d'un assez grand nombre d'expériences.

NOTE C.

DÉTERMINATION DU DÉBIT DES RIGOLES DE CHAZILLY ET GROSBOIS.

Le volume d'eau tiré des réservoirs de Chazilly et Grosbois est jaugé à l'extrémité amont de chacune des deux rigoles, à l'aide d'un déversoir de $1^m,50$ de largeur (voir planche XIV, fig. 2 et 3). La crête de ce déversoir, formé par des poutrelles de $0^m,08$ d'équarrissage, est à $1^m,10$ au-dessus du fond du canal en maçonnerie qui le précède, et qui a lui-même 3 mètres environ de largeur. Le déversoir occupant ainsi la moitié de la largeur du canal, la contraction latérale, sans être complétement nulle, comme dans les expériences de M. Boileau [1], est cependant loin d'être aussi grande que dans les expériences de MM. Poncelet et Lesbros. On ne pouvait donc, pour déterminer le débit, se servir des coefficients trouvés par ces expérimentateurs, et il fallait recourir à des expériences de tarage directes. Ces expériences ont eu lieu à Grosbois, en 1861.

A peu de distance en aval du déversoir se trouve une partie de la rigole construite en maçonnerie et présentant une section régulière (voir planche XV, fig. 2). On a fait couler dans cette rigole quatre volumes d'eau à peu près égaux à ceux qui avaient servi, en 1859, aux expériences des séries n°s 36 à 50; pour chacun d'eux on a mesuré la charge du déversoir sur une échelle placée à 5 mètres en amont; on a déterminé en outre le débit de la rigole en mesurant la vitesse en un grand nombre de points de la section transversale, à l'aide d'un moulinet préalablement taré avec beaucoup de soin. Ces expériences ne sont autres que celles de la série n° 77; elles ont conduit aux résultats suivants.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	CHARGE du DÉVERSOIR.	DÉBIT par seconde DU DÉVERSOIR.	COEFFICIENT.
	mèt.	mèt. cub.	
1	0,229	0,304	0,417
2	0,353	0,658	0,472
3	0,448	0,940	0,472
4	0,548	1,296	0,481

[1] *Traité de la mesure des eaux courantes*, 1854.

Les nombres inscrits dans la dernière colonne du tableau sont les coefficients m de la formule $Q = mLH\sqrt{2gH}$, dans laquelle Q désigne le débit, H la charge du déversoir et L sa largeur. Les trois dernières valeurs du coefficient sont peu différentes, mais la première est notablement inférieure. Cette anomalie apparente tient à un phénomène remarquable, qui a été signalé par plusieurs expérimentateurs et décrit avec détail par M. Boileau. L'air enfermé sous la nappe, en raison du prolongement des parois latérales du déversoir, se trouvant à une pression inférieure à celle de l'atmosphère, avec laquelle il ne communique plus, l'eau d'aval s'élève, par suite de ce défaut de pression, sous la nappe, d'autant plus que la charge est plus grande; à partir d'une certaine charge, elle atteint la crête du déversoir, et la nappe se trouve alors noyée en dessous, c'est-à-dire complétement adhérente à la face d'aval du barrage. Ce phénomène exerce une grande influence sur le débit; M. Boileau donne, en effet, pour un déversoir à peu près semblable à celui que nous avons à considérer, les coefficients suivants[1] :

Charges du déversoir.	Coefficients.	
$0^{m},12$	0,394	Nappe libre ou détachée du barrage.
0 ,14	0,413	*Idem.*
0 ,16	0,446	Nappe noyée en dessous.
0 ,18	0,458	*Idem.*
0 ,20	0,467	*Idem.*

On voit par ces chiffres que le coefficient augmente subitement à partir du moment où la nappe est noyée en dessous; cette circonstance existait à Grosbois pour les expériences n°s 2, 3 et 4, dont les résultats s'accordent d'ailleurs avec ceux obtenus par M. Boileau.

Les débits applicables aux expériences de 1859 étaient légèrement supérieurs aux quatre débits sur lesquels ont été exécutées, en 1861, les opérations de tarage du déversoir; mais il est facile de les déduire de ces derniers. Soit H la charge du déversoir pour l'une des opérations de tarage, H′ la charge de l'expérience correspondante de 1859, le débit Q′ correspondant à H′ se déduira du débit Q correspondant à H, en multipliant ce dernier par $\left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{3}{2}}$; on peut admettre, en effet, que le coefficient m ne varie pas sensiblement lorsque la charge varie de H à H′; on obtient ainsi pour les débits cherchés :

[1] *Traité de la mesure des eaux courantes*, 1854, pages 149-151.

NUMÉROS des expériences.	CHARGE constatée lors des opérations de tarage de 1861. H.	DÉBIT trouvé lors des opérations de tarage de 1861. Q.	CHARGE CONSTATÉE lors DES EXPÉRIENCES DE 1859. H'		DÉBIT APPLICABLE AUX EXPÉRIENCES DE 1859. $Q' = Q\left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{3}{2}}$	
			Rigole de Chazilly.	Rigole de Grosbois.	Rigole de Chazilly.	Rigole de Grosbois.
	mèt.	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt. cub.	mèt. cub.
1	0,229	0,304	0,245	0,231	0,336	0,308
2	0,353	0,658	0,380	0,363	0,735	0,685
3	0,448	0,940	0,484	0,460	1,056	0,978
4	0,548	1,296	0,575	0,550	1,393	1,303

Tels étaient les débits à l'extrémité amont de chacune des deux rigoles. Les pertes par infiltration étaient négligeables sur la rigole de Grosbois, ouverte dans un terrain très-argileux et construite d'ailleurs en maçonnerie à mortier, sur près de la moitié de la longueur soumise à l'expérience. On n'a donc tenu aucun compte de ces pertes; les débits précédents doivent toutefois subir une petite correction pour la partie de la rigole située en aval de la tranchée de Soussey (voir planche XV). A l'extrémité de cette tranchée, une prise d'eau dérivait de la rigole principale, pour les besoins du village de Soussey, un petit volume d'eau qui doit être déduit du débit total pour les quatre sections situées au-dessous de ce point. Cette correction réduit ainsi qu'il suit le débit primitif :

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT mesuré à l'origine de la rigole, et applicable aux séries nos 44, 45 et 46.	VOLUME D'EAU dérivé par la prise d'eau de Soussey.	DIFFÉRENCE OU DÉBIT applicable aux séries nos 47, 48, 49 et 50.
	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.
1	0,308	0,034	0,274
2	0,685	0,041	0,644
3	0,978	0,045	0,933
4	1,303	0,024	1,279

La rigole de Chazilly perdait, au contraire, un volume d'eau notable par infiltration; mais un déversoir de jaugeage étant établi à son extrémité inférieure, ces pertes pouvaient être appréciées. Ce déversoir, dont on peut voir les dispositions principales (planche XIV, fig. 4 et 5), a fait l'objet d'opérations de tarage semblables à celles dont le résultat vient d'être rapporté; ces

opérations, exécutées en 1861 à l'extrémité aval de la rigole murée du Roussot (voir planche XIV, fig. 12), ont fourni les résultats ci-après (voir pour le détail de ces expériences la série n° 76).

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	CHARGE DU DÉVERSOIR.	DÉBIT PAR SECONDE.	COEFFICIENT.
	mèt.	mèt. cub.	
1	0,216	0,297	0,445
2	0,344	0,610	0,455
3	0,444	0,890	0,453
4	0,508	1,132	0,471

Les coefficients de la dernière colonne diffèrent peu les uns des autres, parce que le déversoir ne présentait pas le phénomène des nappes noyées en dessous; ils sont probablement trop faibles de quelques millièmes; le débit mesuré à l'extrémité aval de la rigole murée du Roussot devrait, en effet, être augmenté du volume d'eau qui pouvait se perdre entre ce point et le déversoir lui-même, situé à 600 mètres environ en aval. Cette circonstance est du reste peu importante.

Les charges H′ de ce déversoir, lors des expériences de 1859, n'étaient pas exactement les mêmes que les hauteurs H du tableau précédent, mais il est facile d'en déduire le débit Q′ correspondant à ces expériences, ainsi qu'on l'a déjà fait plus haut.

NUMÉROS des expériences.	CHARGE constatée lors des opérations de tarage de 1861. H.	DÉBIT trouvé lors des opérations de tarage de 1861. Q.	CHARGE constatée lors des opérations de 1859. H′.	DÉBIT applicable aux opérations de 1859. $Q' = Q\left(\frac{H'}{H}\right)^{\frac{3}{2}}$
	mèt.	mèt. cub.	mèt.	mèt. cub.
1	0,216	0,297	0,213	0,291
2	0,344	0,610	0,352	0,631
3	0,444	0,890	0,441	0,881
4	0,508	1,132	0,506	1,125

On avait ainsi le débit aux deux extrémités de la rigole, mais on l'a mesuré aussi en 1859 vers le milieu de sa longueur totale dans la partie murée du Tillot (voir planche XIV, fig. 9), en déterminant, à l'aide du tube jau-

geur de M. Darcy, la vitesse en un certain nombre de points de la section (voir série n° 75). Si l'on réunit ces divers éléments, on a :

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT à l'extrémité amont de la rigole.	DÉBIT trouvé sur la rigole murée du Tillot.	DÉBIT à l'extrémité aval de la rigole.	PERTE PAR INFILTRATION		
				entre l'extrémité amont et la rigole du Tillot.	entre la rigole du Tillot et l'extrémité aval.	TOTAL.
	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.
1	0,336	0,326	0,291	0,010	0,035	0,045
2	0,735	0,671	0,631	0,064	0,040	0,104
3	1,056	0,939	0,881	0,117	0,058	0,175
4	1,393	1,205	1,125	0,188	0,080	0,268

Ces pertes varient, comme on le voit, d'une manière assez irrégulière elles sont notables, parce qu'avant les expériences la rigole avait été longtemps à sec, à l'exception de la partie supérieure, sur le fond de laquelle existait un peu d'eau. On comprend, du reste, qu'elles peuvent varier beaucoup suivant que le niveau de l'eau en s'élevant vient à atteindre des couches plus ou moins perméables; des erreurs de peu d'importance sur la valeur totale des débits peuvent, en outre, modifier d'une manière notable les valeurs de leurs différences et altérer la répartition des pertes.

Quoi qu'il en soit, connaissant le débit de la rigole en trois points, il était facile d'en déduire le débit dans les parties intermédiaires, en supposant les pertes à peu près uniformément réparties dans chaque intervalle, ce qui ne saurait donner lieu à une erreur importante. C'est ainsi qu'ont été déterminés les débits applicables à chaque série :

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT à l'extrémité amont de la rigole.	DÉBIT APPLICABLE			DÉBIT dans la rigole murée du Tillot, sér. n° 39.	DÉBIT APPLICABLE				DÉBIT à l'extrémité aval de la rigole.
		à la série n° 36.	à la série n° 37.	à la série n° 38.		à la série n° 40.	à la série n° 41.	à la série n° 42.	à la série n° 43.	
	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.	mèt. cub.
1	0,336	0,334	0,331	0,327	0,326	0,321	0,307	0,299	0,293	0,291
2	0,735	0,725	0,702	0,680	0,671	0,666	0,650	0,640	0,634	0,631
3	1,056	1,037	0,996	0,955	0,939	0,931	0,908	0,895	0,885	0,881
4	1,393	1,363	1,297	1,231	1,205	1,194	1,162	1,144	1,130	1,125

Ces débits sont ceux qui ont été adoptés dans les calculs.

NOTE D.

EXPÉRIENCES FAITES SUR LA SEINE ET SUR LA SAÔNE.

Les expériences faites à Paris, entre le pont d'Iéna et celui des Invalides, ont été exécutées au moyen de flotteurs; les résultats que nous avons rapportés sont la moyenne de plusieurs opérations faites pour des hauteurs d'eau à peu près semblables.

On s'est également servi de flotteurs pour les expériences faites à Poissy, Triel et Meulan, à l'exception des expériences n°s 2 et 4, pour lesquelles on a déterminé la vitesse en un grand nombre de points, à l'aide du moulinet de Woltmann.

Les expériences n°s 1 et 2 ont eu lieu à Meulan, les expériences n°s 3 et 4 à Triel, les cinq autres à Poissy.

Toutes les expériences sur la Saône ont été exécutées à l'aide du moulinet.

Le tableau suivant renferme les résultats de toutes ces expériences. La vitesse maxima, inscrite dans ce tableau, a été obtenue sur la Seine à l'aide de flotteurs de surface. Pour les expériences faites sur la Saône, c'est la plus grande des vitesses obtenues dans toute la section à l'aide du moulinet.

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT par seconde Q.	RAYON moyen R.	VITESSE moyenne U.	PENTE par mètre I.	VALEUR du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$	VITESSE maxima V.	RAPPORT de la vitesse moyenne à la vitesse maxima $\frac{U}{V}$	OBSERVATIONS.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.		
EXPÉRIENCES FAITES SUR LA SEINE, À PARIS, ENTRE LE PONT D'IÉNA ET CELUI DES INVALIDES, EN 1851 ET 1852.								
1	117,22	1,726	0,638	0,000127	0,000539	0,75	0,851	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 0m,50 environ au-dessus de l'étiage.
2	164,76	2,159	0,690	0,000133	0,000603	0,82	0,841	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 1m environ au-dessus de l'étiage.
3	217,39	2,569	0,737	0,000135	0,000639	0,88	0,838	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 1m,50 environ au-dessus de l'étiage.
4	352,18	2,888	1,027	0,000140	0,000383	1,22	0,842	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 2m environ au-dessus de l'étiage.
5	468,18	3,328	1,140	0,000140	0,000359	1,35	0,844	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 2m,50 environ au-dessus de l'étiage.
6	551,91	3,714	1,163	0,000140	0,000384	1,39	0,837	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 3m environ au-dessus de l'étiage.
7	763,59	4,419	1,290	0,000140	0,000372	1,50	0,860	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 3m,50 environ au-dessus de l'étiage.
8	885,04	4,578	1,375	0,000140	0,000339	1,59	0,865	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 4m environ au-dessus de l'étiage.
9	1 065,31	4,855	1,427	0,000172	0,000410	1,58	0,903	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 4m,50 environ au-dessus de l'étiage.
10	1 178,30	5,135	1,463	0,000131	0,000314	1,66	0,881	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 5m environ au-dessus de l'étiage.
11	1 264,18	5,604	1,429	0,000103	0,000283	1,68	0,851	Les eaux, pendant l'opération, étaient à 5m,50 environ au-dessus de l'étiage.
EXPÉRIENCES FAITES SUR LA SEINE, À POISSY, TRIEL ET MEULAN, EN 1852 ET 1853.								
1	391,21	2,164	0,704	0,000090	0,000393	"	"	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,06.
2	424,90	2,340	0,705	0,000087	0,000410	0,79	0,892	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,28.
3	377,17	3,426	0,720	0,000057	0,000377	"	"	Les eaux, pendant le cours de l'opération, n'ont pas sensiblement varié.
4	425,76	3,788	0,719	0,000060	0,000440	0,86	0,836	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,60.
5	501,94	4,136	0,723	0,000050	0,000396	0,86	0,841	Les eaux, pendant le cours de l'opération, n'ont pas varié.
6	584,26	4,328	0,791	0,000054	0,000374	0,94	0,841	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,20.
7	741,20	4,835	0,887	0,000062	0,000381	1,04	0,853	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,17.
8	854,38	5,134	0,945	0,000067	0,000385	1,11	0,851	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,26.
9	980,46	5,445	1,015	0,000075	0,000396	1,21	0,839	Les eaux, pendant le cours de l'opération, ont varié de 0m,23.
EXPÉRIENCES FAITES SUR LA SAÔNE, À RACONNAY, DE 1857 À 1859.								
1	29,88	1,182	0,172	0,00004	0,001598	0,233	0,738	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,05.
2	55,09	1,454	0,248	*Idem.*	0,000946	0,344	0,721	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,10.
3	99,55	2,151	0,301	*Idem.*	0,000950	0,393	0,766	Les eaux, pendant l'opération, n'ont pas varié.
4	234,46	2,720	0,488	*Idem.*	0,000457	0,637	0,766	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,02.
5	337,56	3,314	0,565	*Idem.*	0,000415	0,746	0,757	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,03.
6	374,49	3,539	0,582	*Idem.*	0,000418	0,769	0,757	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,05.
7	390,05	3,598	0,592	*Idem.*	0,000411	0,791	0,748	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,06.
8	516,75	4,044	0,687	*Idem.*	0,000343	0,856	0,803	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,10.
9	602,67	4,463	0,722	*Idem.*	0,000342	0,942	0,766	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,16.
10	659,97	4,825	0,725	*Idem.*	0,000367	0,954	0,760	Les eaux, pendant l'opération, ont varié de 0m,05.

NOTE E.

EXPÉRIENCES SUR DES DÉVERSOIRS DIVERSEMENT INCLINÉS PAR RAPPORT À LA DIRECTION DU COURANT.

L'écoulement sur les barrages établis pour les expériences des séries n°s 89, 90 et 91, a présenté quelques circonstances intéressantes, qu'il peut être utile de rappeler.

SÉRIE N° 89.

La hauteur du barrage qui occupait toute la largeur du canal était de $0^m,606$ pour les expériences n°s 1 à 6, et de $0^m,404$ pour les expériences n°s 7 à 9 (voir pl. XXVIII, fig. 2 et 3).

Le tableau suivant contient, pour chaque débit Q, l'épaisseur de la lame d'eau qui passait sur la crête du déversoir, la charge H du déversoir et le coefficient m de la formule ordinairement usitée $Q = mLH\sqrt{2gH}$.

La largeur L du canal était égale à 2 mètres. La charge H est l'élément le plus difficile à déterminer. Pour l'obtenir on a calculé le niveau moyen de la surface du courant au-dessus de la crête du déversoir, entre les profils n°s 102 et 114, situés, le premier, à 30 mètres, et le deuxième, à 10 mètres environ en amont du barrage; le calcul ne présentait pas de difficultés, puisque l'on connaissait le nivellement du fond et les profondeurs du courant à chaque profil. (Voir plus haut, page 295.)

NUMÉROS des expériences de la série N° 89.	DÉBIT par SECONDE Q.	ÉPAISSEUR de la LAME D'EAU e.	CHARGE du DÉVERSOIR H.	COEFFICIENT m DE LA FORMULE $Q = mLH\sqrt{2gH}$	OBSERVATIONS.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.		
			BARRAGE DE $0^m,606$ DE HAUTEUR.		
1	0,103	0,066	0,091	0,424	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,10$ à $0^m,12$ au-dessus du pied du barrage.
2	0,209	0,110	0,143	0,436	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,18$ à $0^m,20$ au-dessus du pied du barrage.
3	0,317	0,142	0,189	0,436	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,25$ à $0^m,30$ au-dessus du pied du barrage.
4	0,424	0,168	0,218	0,470	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,40$ à $0^m,50$ au-dessus du pied du barrage.
5	0,531	0,190	0,239	0,513	L'eau d'aval s'élevait fréquemment jusqu'à la crête du barrage, la nappe était instable et son épaisseur très-difficile à mesurer.
6	0,637	0,213	0,270	0,513	
			BARRAGE DE $0^m,404$ DE HAUTEUR.		
7	0,721	0,240	0,308	0,476	La nappe était complétement noyée en dessous.
8	0,824	0,271	0,325	0,502	La nappe était complétement noyée en dessous.
9	1,030	0,316	0,386	0,485	La nappe était complétement noyée en dessous.

Le phénomène signalé dans la note D et étudié par M. Boileau (*Traité de la mesure des eaux courantes*) s'est reproduit dans ces expériences. L'air enfermé sous la nappe se trouvait à une pression inférieure à celle de l'atmosphère, et l'eau d'aval s'élevait contre le barrage à une hauteur croissante avec la charge du déversoir. Cette hauteur est indiquée dans la colonne d'observation pour les quatre premières expériences; dans les trois dernières, l'air avait tout à fait disparu sous la nappe, qui était complétement noyée en dessous; les expériences n°s 5 et 6 correspondent à un état transitoire, dans lequel la nappe est singulièrement instable. L'eau d'aval s'élève alors de temps en temps jusqu'à la crête même du barrage, puis un certain volume d'air rentre avec un bruit sourd sous la nappe; ce volume d'air est lui-même entraîné peu à peu, et l'eau d'aval parvient de nouveau jusqu'à la crête : ces alternatives se reproduisent périodiquement et rendent impossible toute mesure précise de l'épaisseur de la lame d'eau. On voit que le coefficient m de la formule de Dubuat augmente notablement pour les nappes noyées en dessous, ainsi que l'avait constaté M. Boileau.

SÉRIE N° 90.

Pour procéder aux expériences de la série n° 90, on avait substitué à l'écoulement en déversoir un écoulement par un orifice placé à la partie inférieure du barrage (voir pl. XXVIII, fig. 4 et 5). Cet orifice, dont la face inférieure et les deux faces latérales étaient formées par les parois mêmes du canal, avait $0^m,105$ de hauteur pour les expériences n°s 1 et 2, et $0^m,212$ pour les expériences n°s 3 à 5. La contraction ne s'opérait que sur la face supérieure.

On a indiqué, dans le tableau suivant, la charge H sur le centre de l'orifice et le coefficient m de la formule $Q = m\omega\sqrt{2gH}$ (ω étant la section de l'orifice d'écoulement); la cinquième colonne contient, en outre, l'épaisseur de la lame d'eau à $0^m,05$ de la face d'aval du barrage qui avait $0^m,10$ d'épaisseur.

NUMÉROS des expériences de la série N° 90.	DÉBIT par SECONDE Q.	HAUTEUR DE L'EAU contre le barrage.	CHARGE sur le centre DE L'ORIFICE H.	ÉPAISSEUR DE LA LAME D'EAU à $0^m,05$ de la face d'aval du barrage.	COEFFICIENT m de LA FORMULE $Q = m\omega\sqrt{2gH}$
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.	
		ORIFICE DE $0^m,105$ DE HAUTEUR.			
1	0,307	0,330	0,278	0,070	0,626
2	0,515	0,785	0,733	0,074	0,647
		ORIFICE DE $0^m,212$ DE HAUTEUR.			
3	0,721	0,506	0,400	0,150	0,607
4	0,927	0,798	0,692	0,143	0,593
5	1,030	0,946	0,840	0,144	0,598

SÉRIE N° 91.

L'écoulement s'opérait par déversoir; mais le barrage, au lieu d'être normal au courant, était oblique; on lui a donné successivement 4 mètres, 3 mètres et $2^m,50$ de longueur (la largeur du canal était de 2 mètres). On a fait, avec chacun de ces barrages, six expériences. Les trois dernières seulement sont rapportées dans la série n° 91. (L'épaisseur de la lame d'eau était variable en chaque point de la crête du barrage, aussi l'a-t-on mesurée en plusieurs points, savoir : trois pour le barrage de 4 mètres de longueur, quatre pour celui de 3 mètres, et six pour celui de $2^m,50$; la position de ces points est indiquée sur la planche XXVIII, fig. 7, 9 et 11.)

BARRAGE OBLIQUE DE 4 MÈTRES DE LONGUEUR.

NUMÉROS des expériences de la série N° 91.	DÉBIT par SECONDE Q.	ÉPAISSEUR DE LA LAME D'EAU au point A.	au point B.	au point C.	CHARGE du DÉVERSOIR H.	COEFFICIENT de LA FORMULE $Q = mLH\sqrt{2gH}$	OBSERVATIONS.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		
//	0,103	0,036	0,044	0,042	0,061	0,386	Dans toute cette série d'expériences, les nappes sont restées libres, c'est-à-dire détachées du barrage.
//	0,209	0,062	0,068	0,061	0,091	0,430	
//	0,424	0,104	0,103	0,087	0,149	0,416	
1	0,637	0,140	0,141	0,117	0,194	0,421	
2	0,850	0,166	0,169	0,138	0,238	0,413	
3	1,030	0,177	0,186	0,161	0,258	0,443	

BARRAGE OBLIQUE DE 3 MÈTRES DE LONGUEUR.

NUMÉROS des expériences de la série n° 91.	DÉBIT par SECONDE Q.	ÉPAISSEUR DE LA LAME D'EAU au point A.	au point B.	au point C.	au point D.	CHARGE du DÉVERSOIR H.	COEFFICIENT de LA FORMULE $Q = mLH\sqrt{2gH}$	OBSERVATIONS.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		
//	0,100	0,070	0,046	0,042	0,045	0,068	0,425	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,10$ à $0^m,12$ au-dessus du pied du barrage.
//	0,203	0,099	0,074	0,071	0,070	0,108	0,431	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,20$ à $0^m,22$ au-dessus du pied du barrage.
//	0,411	0,160	0,126	0,121	0,116	0,170	0,441	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,30$ à $0^m,35$ au-dessus du pied du barrage.
4	0,618	0,207	0,164	0,156	0,146	0,216	0,463	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,45$ à $0^m,50$ au-dessus du pied du barrage.
5	0,824	0,232	0,182	0,178	0,167	0,252	0,490	La nappe était noyée en dessous.
6	1,030	0,277	0,218	0,212	0,191	0,299	0,474	*Idem.*

BARRAGE OBLIQUE DE $2^m,50$ DE LARGEUR.

NUMÉROS des expériences de la série n° 91.	DÉBIT par SECONDE Q	ÉPAISSEUR DE LA LAME D'EAU au point A	au point B	au point C	au point D	au point E	au point F	CHARGE du DÉVERSOIR H	COEFFICIENT m DE LA FORMULE $Q = mLH\sqrt{2gH}$	OBSERVATIONS.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		
"	0,100	0,067	0,051	0,052	0,050	0,050	0,050	0,078	0,415	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,12$ à $0^m,15$ au-dessus du pied du barrage.
"	0,203	0,103	0,091	0,086	0,081	0,085	0,077	0,122	0,430	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,20$ à $0^m,22$ au-dessus du pied du barrage.
"	0,411	0,165	0,149	0,137	0,133	0,132	0,121	0,186	0,463	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,30$ à $0^m,35$ au-dessus du pied du barrage.
7	0,618	0,203	0,184	0,170	0,167	0,158	0,156	0,235	0,490	L'eau d'aval s'élevait sous la nappe de $0^m,50$ à $0^m,55$ au-dessus du pied du barrage.
8	0,824	0,241	0,220	0,213	0,204	0,185	0,174	0,284	0,492	La nappe était noyée en dessous.
9	1,030	0,285	0,267	0,257	0,243	0,227	0,207	0,329	0,493	*Idem*.

La crête des barrages avait été dressée horizontalement avec un très-grand soin. On voit qu'ordinairement l'épaisseur de la lame d'eau sur le barrage va en diminuant depuis l'angle obtus jusqu'à l'angle aigu, sauf pour le barrage de 4 mètres, où la plus grande épaisseur paraît être vers le milieu de la longueur totale.

Le calcul du coefficient m a été fait en donnant à L la valeur 4 mètres pour le premier barrage, 3 mètres pour le deuxième, et $2^m,50$ pour le troisième. La charge a été déterminée comme pour les barrages droits de la série n° 89. Ce coefficient diminue un peu à mesure que l'obliquité du barrage augmente, ainsi que l'on pouvait s'y attendre. Il faut remarquer, en outre, que les parois du canal étant continuées en aval du déversoir, l'écoulement se trouvait un peu gêné vers l'une de ses extrémités, ce qui tend à diminuer m. Toutefois cette circonstance n'a pu avoir une influence bien sensible.

TABLES.

Quelques mots d'explication suffiront pour faire comprendre la disposition et l'usage des quatre tables suivantes.

L'équation du mouvement uniforme de l'eau dans un canal peut être mise sous la forme très-simple

$$RI = AU^2$$

R étant le rayon moyen, I la pente, U la vitesse moyenne et A un coefficient numérique variable avec R et avec la nature de la paroi sur laquelle s'opère l'écoulement. Les tables n°s 1 et 2 font connaître, pour toutes les valeurs de R que l'on peut rencontrer dans la pratique, les valeurs correspondantes de A et de $\frac{1}{\sqrt{A}}$.

On a distingué quatre catégories de parois, savoir :

1° Parois très-unies (ciment, bois raboté avec soin, etc.);
2° Parois unies (planche, brique, pierre de taille, etc.);
3° Parois peu unies (maçonnerie de moellons, etc.);
4° Parois en terre.

Il ne faut pas oublier que la distinction entre ces quatre catégories ne saurait être établie d'une manière bien tranchée, et que, dans les applications, il conviendra souvent de considérer des cas intermédiaires.

Les tables n°s 3 et 4 font connaître la valeur du rapport $\frac{U}{V}$ des vitesses moyenne et *maxima*. Ce rapport peut se déduire, soit du coefficient A, soit, si la nature de la paroi est connue, du rayon moyen R.

La table n° 3 donne les valeurs de $\frac{U}{V}$ en fonction de A, calculées à l'aide de la formule

$$\frac{U}{V} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{A}}$$

La table n° 4, obtenue en combinant la précédente avec la table n° 1, donne, pour chacune des quatre catégories de parois, les valeurs de $\frac{U}{V}$ correspondantes aux valeurs du rayon moyen R.

On trouvera à la suite un tableau renfermant les résultats de plus de 500 expériences sur des canaux découverts : il pourra souvent être utile de recourir à ce tableau, si l'on rencontre dans les applications quelques cas analogues aux nombreuses expériences qui s'y trouvent réunies.

TABLE N° 1

DONNANT LES VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$ CORRESPONDANTES AUX VALEURS DU RAYON MOYEN R

COMPRISES ENTRE $0^m,01$ ET $6^m,00$.

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS EN TERRE.
0,01	0,000600	"	"	"
0,02	0,000375	0,000855	"	"
0,03	0,000300	0,000633	"	"
0,04	0,000262	0,000522	"	"
0,05	0,000240	0,000456	0,001440	"
0,06	0,000225	0,000412	0,001240	"
0,07	0,000214	0,000380	0,001097	"
0,08	0,000206	0,000356	0,000990	"
0,09	0,000200	0,000338	0,000907	"
0,10	0,000195	0,000323	0,000840	0,003780
0,11	0,000191	0,000311	0,000785	0,003462
0,12	0,000188	0,000301	0,000740	0,003197
0,13	0,000185	0,000292	0,000702	0,002972
0,14	0,000182	0,000285	0,000669	0,002780
0,15	0,000180	0,000279	0,000640	0,002613
0,16	0,000178	0,000273	0,000615	0,002468
0,17	0,000176	0,000268	0,000593	0,002339
0,18	0,000175	0,000264	0,000573	0,002224
0,19	0,000174	0,000260	0,000556	0,002122
0,20	0,000172	0,000256	0,000540	0,002030
0,21	0,000171	0,000253	0,000526	0,001947
0,22	0,000170	0,000250	0,000513	0,001871

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS EN TERRE.
0,23	0,000170	0,000248	0,000501	0,001802
0,24	0,000169	0,000245	0,000490	0,001738
0,25	0,000168	0,000243	0,000480	0,001680
0,26	0,000167	0,000241	0,000471	0,001626
0,27	0,000167	0,000239	0,000462	0,001576
0,28	0,000166	0,000237	0,000454	0,001530
0,29	0,000166	0,000236	0,000447	0,001487
0,30	0,000165	0,000234	0,000440	0,001447
0,31	0,000165	0,000233	0,000434	0,001409
0,32	0,000164	0,000232	0,000428	0,001374
0,33	0,000164	0,000230	0,000422	0,001341
0,34	0,000163	0,000229	0,000416	0,001309
0,35	0,000163	0,000228	0,000411	0,001280
0,36	0,000163	0,000227	0,000407	0,001252
0,37	0,000162	0,000226	0,000402	0,001226
0,38	0,000162	0,000225	0,000398	0,001201
0,39	0,000162	0,000224	0,000394	0,001177
0,40	0,000161	0,000223	0,000390	0,001155
0,41	0,000161	0,000222	0,000386	0,001134
0,42	0,000161	0,000222	0,000383	0,001113
0,43	0,000160	0,000221	0,000380	0,001094
0,44	0,000160	0,000220	0,000376	0,001075
0,45	0,000160	0,000220	0,000373	0,001058
0,46	0,000160	0,000219	0,000370	0,001041
0,47	0,000160	0,000218	0,000368	0,001025
0,48	0,000159	0,000218	0,000365	0,001009
0,49	0,000159	0,000217	0,000362	0,000994
0,50	0,000159	0,000217	0,000360	0,000980
0,51	0,000159	0,000216	0,000358	0 000966
0,52	0,000159	0,000216	0,000355	0,000953
0,53	0,000158	0,000215	0,000353	0,000940
0,54	0,000158	0,000215	0,000351	0,000928

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS EN TERRE.
0,55	0,000158	0,000214	0,000349	0,000916
0,56	0,000158	0,000214	0,000347	0,000905
0,57	0,000158	0,000213	0,000345	0,000894
0,58	0,000158	0,000213	0,000343	0,000883
0,59	0,000158	0,000213	0,000342	0,000873
0,60	0,000158	0,000212	0,000340	0,000863
0,61	0,000157	0,000212	0,000338	0,000854
0,62	0,000157	0,000211	0,000337	0,000845
0,63	0,000157	0,000211	0,000335	0,000836
0,64	0,000157	0,000211	0,000334	0,000827
0,65	0,000157	0,000210	0,000332	0,000818
0,66	0,000157	0,000210	0,000331	0,000810
0,67	0,000157	0,000210	0,000330	0,000802
0,68	0,000157	0,000210	0,000328	0,000795
0,69	0,000157	0,000209	0,000327	0,000787
0,70	0,000156	0,000209	0,000326	0,000780
0,71	0,000156	0,000209	0,000325	0,000773
0,72	0,000156	0,000208	0,000323	0,000766
0,73	0,000156	0,000208	0,000322	0,000759
0,74	0,000156	0,000208	0,000321	0,000753
0,75	0,000156	0,000208	0,000320	0,000747
0,76	0,000156	0,000208	0,000319	0,000741
0,77	0,000156	0,000207	0,000318	0,000735
0,78	0,000156	0,000207	0,000317	0,000729
0,79	0,000156	0,000207	0,000316	0,000723
0,80	0,000156	0,000207	0,000315	0,000718
0,81	0,000156	0,000206	0,000314	0,000712
0,82	0,000155	0,000206	0,000313	0,000707
0,83	0,000155	0,000206	0,000312	0,000702
0,84	0,000155	0,000206	0,000311	0,000697
0,85	0,000155	0,000206	0,000311	0,000692
0,86	0,000155	0,000205	0,000310	0,000687

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS EN TERRE.
0,87	0,000155	0,000205	0,000309	0,000682
0,88	0,000155	0,000205	0,000308	0,000678
0,89	0,000155	0,000205	0,000307	0,000673
0,90	0,000155	0,000205	0,000307	0,000669
0,91	0,000155	0,000205	0,000306	0,000665
0,92	0,000155	0,000204	0,000305	0,000660
0,93	0,000155	0,000204	0,000305	0,000656
0,94	0,000155	0,000204	0,000304	0,000652
0,95	0,000155	0,000204	0,000303	0,000648
0,96	0,000155	0,000204	0,000303	0,000645
0,97	0,000155	0,000204	0,000302	0,000641
0,98	0,000155	0,000204	0,000301	0,000637
0,99	0,000155	0,000203	0,000301	0,000634
1,00	0,000155	0,000203	0,000300	0,000630
1,02	0,000154	0,000203	0,000299	0,000623
1,04	0,000154	0,000203	0,000298	0,000617
1,06	0,000154	0,000203	0,000297	0,000610
1,08	0,000154	0,000202	0,000296	0,000604
1,10	0,000154	0,000202	0,000295	0,000598
1,12	0,000154	0,000202	0,000294	0,000592
1,14	0,000154	0,000202	0,000293	0,000587
1,16	0,000154	0,000201	0,000292	0,000582
1,18	0,000154	0,000201	0,000291	0,000577
1,20	0,000154	0,000201	0,000290	0,000572
1,22	0,000154	0,000201	0,000289	0,000567
1,24	0,000154	0,000201	0,000288	0,000562
1,26	0,000154	0,000201	0,000288	0,000558
1,28	0,000154	0,000200	0,000287	0,000553
1,30	0,000153	0,000200	0,000286	0,000549
1,32	0,000153	0,000200	0,000285	0,000545

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS EN TERRE.
1,34	0,000153	0,000200	0,000285	0,000541
1,36	0,000153	0,000200	0,000284	0,000537
1,38	0,000153	0,000200	0,000283	0,000534
1,40	0,000153	0,000199	0,000283	0,000530
1,42	0,000153	0,000199	0,000282	0,000526
1,44	0,000153	0,000199	0,000282	0,000523
1,46	0,000153	0,000199	0,000281	0,000520
1,48	0,000153	0,000199	0,000281	0,000516
1,50	0,000153	0,000199	0,000280	0,000513
1,52	0,000153	0,000199	0,000279	0,000510
1,54	0,000153	0,000199	0,000279	0,000507
1,56	0,000153	0,000199	0,000278	0,000504
1,58	0,000153	0,000198	0,000278	0,000502
1,60	0,000153	0,000198	0,000277	0,000499
1,62	0,000153	0,000198	0,000277	0,000496
1,64	0,000153	0,000198	0,000277	0,000493
1,66	0,000153	0,000198	0,000276	0,000491
1,68	0,000153	0,000198	0,000276	0,000488
1,70	0,000153	0,000198	0,000275	0,000486
1,72	0,000153	0,000198	0,000275	0,000483
1,74	0,000153	0,000198	0,000274	0,000481
1,76	0,000153	0,000198	0,000274	0,000479
1,78	0,000153	0,000197	0,000274	0,000477
1,80	0,000153	0,000197	0,000273	0,000474
1,82	0,000152	0,000197	0,000273	0,000472
1,84	0,000152	0,000197	0,000273	0,000470
1,86	0,000152	0,000197	0,000272	0,000468
1,88	0,000152	0,000197	0,000272	0,000466
1,90	0,000152	0,000197	0,000272	0,000464
1,92	0,000152	0,000197	0,000271	0,000462
1,94	0,000152	0,000197	0,000271	0,000460
1,96	0,000152	0,000197	0,000271	0,000459

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS EN TERRE.
1,98	0,000152	0,000197	0,000270	0,000457
2,00	0,000152	0,000197	0,000270	0,000455
2,10	0,000152	0,000196	0,000269	0,000447
2,20	0,000152	0,000196	0,000267	0,000439
2,30	0,000152	0,000196	0,000266	0,000432
2,40	0,000152	0,000196	0,000265	0,000426
2,50	0,000152	0,000195	0,000264	0,000420
2,60	0,000152	0,000195	0,000263	0,000415
2,70	0,000152	0,000195	0,000262	0,000410
2,80	0,000152	0,000195	0,000261	0,000405
2,90	0,000152	0,000195	0,000261	0,000401
3,00	0,000152	0,000194	0,000260	0,000397
3,10	0,000151	0,000194	0,000259	0,000393
3,20	0,000151	0,000194	0,000259	0,000389
3,30	0,000151	0,000194	0,000258	0,000386
3,40	0,000151	0,000194	0,000258	0,000383
3,50	0,000151	0,000194	0,000257	0,000380
3,60	0,000151	0,000194	0,000257	0,000377
3,70	0,000151	0,000194	0,000256	0,000375
3,80	0,000151	0,000194	0,000256	0,000372
3,90	0,000151	0,000193	0,000255	0,000370
4,00	0,000151	0,000193	0,000255	0,000368
4,25	0,000151	0,000193	0,000254	0,000362
4,50	0,000151	0,000193	0,000253	0,000358
4,75	0,000151	0,000193	0,000253	0,000354
5,00	0,000151	0,000193	0,000252	0,000350
5,25	0,000151	0,000193	0,000251	0,000347
5,50	0,000151	0,000192	0,000251	0,000344
5,75	0,000151	0,000192	0,000250	0,000341
6,00	0,000151	0,000192	0,000250	0,000338

TABLE N° 2

DONNANT LES VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$ CORRESPONDANTES AUX VALEURS DU RAYON MOYEN R COMPRISES ENTRE $0^m,01$ ET $6^m,00$.

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$				VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.		PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.
0,01	40,8	"	"	"	0,24	77,0	63,8	45,2	24,0
0,02	51,6	34,2	"	"	0,25	77,2	64,1	45,6	24,4
0,03	57,7	39,7	"	"	0,26	77,3	64,4	46,1	24,8
0,04	61,7	43,8	"	"	0,27	77,5	64,7	46,5	25,2
0,05	64,6	46,8	26,4	"	0,28	77,6	64,9	46,9	25,6
0,06	66,7	49,3	28,4	"	0,29	77,7	65,1	47,3	25,9
0,07	68,3	51,3	30,2	"	0,30	77,9	65,3	47,7	26,3
0,08	69,6	53,0	31,8	"	0,31	78,0	65,5	48,0	26,6
0,09	70,7	54,4	33,2	"	0,32	78,1	65,7	48,4	27,0
0,10	71,6	55,6	34,5	16,3	0,33	78,2	65,9	48,7	27,3
0,11	72,4	56,7	35,7	17,0	0,34	78,3	66,1	49,0	27,6
0,12	73,0	57,7	36,8	17,7	0,35	78,4	66,2	49,3	28,0
0,13	73,6	58,5	37,8	18,3	0,36	78,5	66,4	49,6	28,3
0,14	74,1	59,2	38,7	19,0	0,37	78,5	66,5	49,9	28,6
0,15	74,5	59,9	39,5	19,6	0,38	78,6	66,7	50,1	28,9
0,16	74,9	60,5	40,3	20,1	0,39	78,7	66,8	50,4	29,2
0,17	75,3	61,1	41,1	20,7	0,40	78,8	66,9	50,6	29,4
0,18	75,6	61,6	41,8	21,2	0,41	78,8	67,1	50,9	29,7
0,19	75,9	62,0	42,4	21,7	0,42	78,9	67,2	51,1	30,0
0,20	76,1	62,4	43,0	22,2	0,43	78,9	67,3	51,3	30,2
0,21	76,4	62,8	43,6	22,7	0,44	79,0	67,4	51,5	30,5
0,22	76,6	63,2	44,2	23,1	0,45	79,1	67,5	51,8	30,7
0,23	76,8	63,5	44,7	23,6	0,46	79,1	67,6	52,0	31,0

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$				VALECRS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.		PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.
0,47	79,2	67,7	52,2	31,2	0,81	80,2	69,6	56,4	37,5
0,48	79,2	67,8	52,3	31,5	0,82	80,2	69,6	56,5	37,6
0,49	79,3	67,9	52,5	31,7	0,83	80,2	69,7	56,6	37,8
0,50	79,3	67,9	52,7	31,9	0,84	80,2	69,7	56,7	37,9
0,51	79,4	68,0	52,9	32,2	0,85	80,2	69,7	56,8	38,0
0,52	79,4	68,1	53,0	32,4	0,86	80,3	69,8	56,8	38,2
0,53	79,4	68,2	53,2	32,6	0,87	80,3	69,8	56,9	38,3
0,54	79,5	68,3	53,4	32,8	0,88	80,3	69,8	57,0	38,4
0,55	79,5	68,3	53,5	33,0	0,89	80,3	69,9	57,0	38,5
0,56	79,5	68,4	53,7	33,2	0,90	80,3	69,9	57,1	38,7
0,57	79,6	68,5	53,8	33,4	0,91	80,3	69,9	57,2	38,8
0,58	79,6	68,5	54,0	33,6	0,92	80,3	69,9	57,2	38,9
0,59	79,6	68,6	54,1	33,8	0,93	80,4	70,0	57,3	39,0
0,60	79,7	68,7	54,2	34,0	0,94	80,4	70,0	57,4	39,2
0,61	79,7	68,7	54,4	34,2	0,95	80,4	70,0	57,4	39,3
0,62	79,7	68,8	54,5	34,4	0,96	80,4	70,0	57,5	39,4
0,63	79,8	68,8	54,6	34,6	0,97	80,4	70,1	57,6	39,5
0,64	79,8	68,9	54,7	34,8	0,98	80,4	70,1	57,6	39,6
0,65	79,8	68,9	54,9	35,0	0,99	80,4	70,1	57,7	39,7
0,66	79,9	69,0	55,0	35,1	1,00	80,4	70,1	57,7	39,8
0,67	79,9	69,0	55,1	35,3					
0,68	79,9	69,1	55,2	35,5					
0,69	79,9	69,1	55,3	35,7	1,02	80,5	70,2	57,9	40,1
0,70	80,0	69,2	55,4	35,8	1,04	80,5	70,2	58,0	40,3
0,71	80,0	69,2	55,5	36,0	1,06	80,5	70,3	58,1	40,5
0,72	80,0	69,3	55,6	36,1	1,08	80,5	70,3	58,2	40,7
0,73	80,0	69,3	55,7	36,3	1,10	80,6	70,3	58,3	40,9
0,74	80,0	69,3	55,8	36,4	1,12	80,6	70,4	58,4	41,1
0,75	80,1	69,4	55,9	36,6	1,14	80,6	70,4	58,5	41,3
0,76	80,1	69,4	56,0	36,8	1,16	80,6	70,4	58,6	41,5
0,77	80,1	69,5	56,1	36,9	1,18	80,6	70,5	58,6	41,6
0,78	80,1	69,5	56,2	37,0	1,20	80,6	70,5	58,7	41,8
0,79	80,1	69,5	56,3	37,2	1,22	80,7	70,5	58,8	42,0
0,80	80,2	69,6	56,3	37,3	1,24	80,7	70,6	58,9	42,2

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$ — PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.	VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{\sqrt{RI}}$ — PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.
1,26	80,7	70,6	59,0	42,3	1,94	81,0	71,3	60,8	46,6
1,28	80,7	70,6	59,0	42,5	1,96	81,0	71,3	60,8	46,7
1,30	80,7	70,7	59,1	42,7	1,98	81,0	71,3	60,8	46,8
1,32	80,7	70,7	59,2	42,8	2,00	81,0	71,3	60,9	46,9
1,34	80,7	70,7	59,3	43,0					
1,36	80,8	70,7	59,3	43,1	2,10	81,1	71,4	61,0	47,3
1,38	80,8	70,8	59,4	43,3	2,20	81,1	71,4	61,2	47,7
1,40	80,8	70,8	59,5	43,4	2,30	81,1	71,5	61,3	48,1
1,42	80,8	70,8	59,5	43,6	2,40	81,1	71,5	61,4	48,5
1,44	80,8	70,8	59,6	43,7	2,50	81,2	71,6	61,5	48,8
1,46	80,8	70,9	59,6	43,9	2,60	81,2	71,6	61,6	49,1
1,48	80,8	70,9	59,7	44,0	2,70	81,2	71,6	61,8	49,4
1,50	80,8	70,9	59,8	44,1	2,80	81,2	71,7	61,9	49,7
1,52	80,9	70,9	59,8	44,3	2,90	81,2	71,7	61,9	50,0
1,54	80,9	71,0	59,9	44,4	3,00	81,2	71,7	62,0	50,2
1,56	80,9	71,0	59,9	44,5	3,10	81,3	71,7	62,1	50,4
1,58	80,9	71,0	60,0	44,7	3,20	81,3	71,8	62,1	50,7
1,60	80,9	71,0	60,0	44,8	3,30	81,3	71,8	62,2	50,9
1,62	80,9	71,0	60,1	44,9	3,40	81,3	71,8	62,3	51,1
1,64	80,9	71,1	60,1	45,0	3,50	81,3	71,8	62,3	51,3
1,66	80,9	71,1	60,2	45,1	3,60	81,3	71,9	62,4	51,5
1,68	80,9	71,1	60,2	45,3	3,70	81,3	71,9	62,5	51,7
1,70	80,9	71,1	60,3	45,4	3,80	81,3	71,9	62,5	51,9
1,72	80,9	71,1	60,3	45,5	3,90	81,3	71,9	62,6	52,0
1,74	81,0	71,1	60,4	45,6	4,00	81,3	71,9	62,6	52,2
1,76	81,0	71,1	60,4	45,7					
1,78	81,0	71,2	60,4	45,8	4,25	81,4	72,0	62,7	52,5
1,80	81,0	71,2	60,5	45,9	4,50	81,4	72,0	62,8	52,9
1,82	81,0	71,2	60,5	46,0	4,75	81,4	72,0	62,9	53,2
1,84	81,0	71,2	60,6	46,1	5,00	81,4	72,0	63,0	53,5
1,86	81,0	71,2	60,6	46,2	5,25	81,4	72,1	63,1	53,7
1,88	81,0	71,2	60,6	46,3	5,50	81,4	72,1	63,1	53,9
1,90	81,0	71,2	60,7	46,4	5,75	81,4	72,1	63,2	54,2
1,92	81,0	71,3	60,7	46,5	6,00	81,4	72,1	63,2	54,4

TABLE N° 3

DONNANT LES VALEURS DU RAPPORT $\frac{U}{V}$ DES VITESSES MOYENNE ET MAXIMA CORRESPONDANTES AUX VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$ COMPRISES ENTRE 0,00015 ET 0,003.

VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$	VALEURS DE $\frac{U}{V}$	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$	VALEURS DE $\frac{U}{V}$	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$	VALEURS DE $\frac{U}{V}$
0,000150	0,854	0,000290	0,808	0,000430	0,775
0,000155	0,852	0,000295	0,806	0,000435	0,774
0,000160	0,850	0,000300	0,805	0,000440	0,773
0,000165	0,848	0,000305	0,803	0,000445	0,772
0,000170	0,846	0,000310	0,802	0,000450	0,771
0,000175	0,844	0,000315	0,801	0,000455	0,770
0,000180	0,842	0,000320	0,800	0,000460	0,769
0,000185	0,840	0,000325	0,798	0,000465	0,768
0,000190	0,838	0,000330	0,797	0,000470	0,767
0,000195	0,836	0,000335	0,796	0,000475	0,766
0,000200	0,835	0,000340	0,795	0,000480	0,765
0,000205	0,833.	0,000345	0,794	0,000485	0,764
0,000210	0,831	0,000350	0,792	0,000490	0,763
0,000215	0,830	0,000355	0,791	0,000495	0,763
0,000220	0,828	0,000360	0,790	0,000500	0,762
0,000225	0,826	0,000365	0,789		
0,000230	0,825	0,000370	0,788		
0,000235	0,823	0,000375	0,787		
0,000240	0,822	0,000380	0,786	0,000510	0,760
0,000245	0,820	0,000385	0,784	0,000520	0,758
0,000250	0,819	0,000390	0,783	0,000530	0,756
0,000255	0,817	0,000395	0,782	0,000540	0,754
0,000260	0,816	0,000400	0,781	0,000550	0,753
0,000265	0,814	0,000405	0,780	0,000560	0,751
0,000270	0,813	0,000410	0,779	0,000570	0,750
0,000275	0,812	0,000415	0,778	0,000580	0,748
0,000280	0,810	0,000420	0,777	0,000590	0,746
0,000285	0,809	0,000425	0,776	0,000600	0,745

VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$	VALEURS DE $\frac{U}{V}$	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$	VALEURS DE $\frac{U}{V}$	VALEURS DE $\frac{RI}{U^2}$	VALEURS DE $\frac{U}{V}$
0,000610	0,743	0,000990	0,694	0,001700	0,634
0,000620	0,741	0,001000	0,693	0,001720	0,633
0,000630	0,740			0,001740	0,631
0,000640	0,739			0,001760	0,630
0,000650	0,737	0,001020	0,691	0,001780	0,629
0,000660	0,735	0,001040	0,689	0,001800	0,627
0,000670	0,734	0,001060	0,687	0,001820	0,626
0,000680	0,733	0,001080	0,685	0,001840	0,625
0,000690	0,731	0,001100	0,683	0,001860	0,623
0,000700	0,730	0,001120	0,681	0,001880	0,622
0,000710	0,728	0,001140	0,679	0,001900	0,621
0,000720	0,727	0,001160	0,677	0,001920	0,620
0,000730	0,726	0,001180	0,675	0,001930	0,619
0,000740	0,724	0,001200	0,673	0,001960	0,617
0,000750	0,723	0,001220	0,672	0,001980	0,616
0,000760	0,721	0,001240	0,670	0,002000	0,615
0,000770	0,720	0,001260	0,668		
0,000780	0,719	0,001280	0,666		
0,000790	0,718	0,001300	0,665	0,002050	0,612
0,000800	0,716	0,001320	0,663	0,002100	0,609
0,000810	0,715	0,001340	0,661	0,002150	0,606
0,000820	0,714	0,001360	0,659	0,002200	0,604
0,000830	0,713	0,001380	0,658	0,002250	0,601
0,000840	0,711	0,001400	0,656	0,002300	0,598
0,000850	0,710	0,001420	0,655	0,002350	0,596
0,000860	0,709	0,001440	0,653	0,002400	0,593
0,000870	0,708	0,001460	0,651	0,002450	0,591
0,000880	0,707	0,001480	0,650	0,002500	0,588
0,000890	0,705	0,001500	0,648	0,002550	0,586
0,000900	0,704	0,001520	0,647	0,002600	0,584
0,000910	0,703	0,001540	0,645	0,002650	0,581
0,000920	0,702	0,001560	0,644	0,002700	0,579
0,000930	0,701	0,001580	0,643	0,002750	0,577
0,000940	0,700	0,001600	0,641	0,002800	0,574
0,000950	0,699	0,001620	0,640	0,002850	0,572
0,000960	0,697	0,001640	0,638	0,002900	0,570
0,000970	0,696	0,001660	0,637	0,002950	0,568
0,000980	0,695	0,001680	0,635	0,003000	0,566

TABLE N° 4

DONNANT LES VALEURS DU RAPPORT $\frac{U}{V}$ DES VITESSES MOYENNE ET MAXIMA CORRESPONDANTES AUX VALEURS DU RAYON MOYEN R COMPRISES ENTRE $0^m,01$ ET $6^m,00$.

VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{V}$				VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{V}$			
	PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.		PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.
0,01	0,745	"	"	"	0,24	0,846	0,820	0,763	0,631
0,02	0,787	0,710	"	"	0,25	0,846	0,821	0,765	0,635
0,03	0,805	0,740	"	"	0,26	0,847	0,822	0,767	0,639
0,04	0,815	0,758	"	"	0,27	0,847	0,822	0,769	0,643
0,05	0,822	0,770	0,653	"	0,28	0,847	0,823	0,770	0,646
0,06	0,826	0,779	0,670	"	0,29	0,847	0,823	0,772	0,649
0,07	0,830	0,786	0,683	"	0,30	0,848	0,824	0,773	0,653
0,08	0,833	0,791	0,694	"	0,31	0,848	0,824	0,774	0,655
0,09	0,835	0,795	0,703	"	0,32	0,848	0,824	0,776	0,658
0,10	0,836	0,799	0,711	0,537	0,33	0,848	0,825	0,777	0,661
0,11	0,838	0,802	0,718	0,548	0,34	0,848	0,825	0,778	0,664
0,12	0,839	0,805	0,724	0,558	0,35	0,848	0,825	0,779	0,666
0,13	0,840	0,807	0,729	0,567	0,36	0,849	0,826	0,780	0,669
0,14	0,841	0,809	0,734	0,575	0,37	0,849	0,826	0,781	0,671
0,15	0,842	0,811	0,738	0,583	0,38	0,849	0,826	0,782	0,673
0,16	0,843	0,812	0,742	0,590	0,39	0,849	0,827	0,783	0,676
0,17	0,843	0,814	0,746	0,596	0,40	0,849	0,827	0,783	0,678
0,18	0,844	0,815	0,749	0,602	0,41	0,849	0,827	0,784	0,680
0,19	0,844	0,816	0,752	0,608	0,42	0,849	0,827	0,785	0,682
0,20	0,845	0,817	0,755	0,613	0,43	0,849	0,828	0,786	0,684
0,21	0,845	0,818	0,757	0,618	0,44	0,849	0,828	0,786	0,685
0,22	0,845	0,819	0,759	0,623	0,45	0,850	0,828	0,787	0,687
0,23	0,846	0,819	0,761	0,627	0,46	0,850	0,828	0,788	0,689

VALEURS DE R..	VALEURS DE $\frac{U}{V}$ — PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.	VALEURS DE R.	VALEURS DE $\frac{U}{V}$ — PAROIS TRÈS-UNIES (ciment lissé, bois raboté avec soin).	PAROIS UNIES (planches, pierre de taille).	PAROIS PEU UNIES (en maçonnerie de moellons).	PAROIS en terre.
0,47	0,850	0,829	0,788	0,690	1,20	0,852	0,834	0,807	0,749
0,48	0,850	0,829	0,789	0,692	1,25	0,852	0,835	0,808	0,751
0,49	0,850	0,829	0,790	0,694	1,30	0,852	0,835	0,809	0,753
0,50	0,850	0,829	0,790	0,695	1,35	0,852	0,835	0,809	0,755
					1,40	0,852	0,835	0,809	0,756
0,52	0,850	0,829	0,791	0,698	1,45	0,852	0,835	0,810	0,758
0,54	0,850	0,830	0,792	0,701	1,50	0,852	0,835	0,810	0,759
0,56	0,850	0,830	0,793	0,704	1,55	0,852	0,835	0,811	0,760
0,58	0,850	0,830	0,794	0,706	1,60	0,852	0,835	0,811	0,762
0,60	0,851	0,831	0,795	0,709	1,65	0,853	0,835	0,811	0,763
0,62	0,851	0,831	0,796	0,711	1,70	0,853	0,835	0,811	0,764
0,64	0,851	0,831	0,796	0,713	1,75	0,853	0,836	0,812	0,765
0,66	0,851	0,831	0,797	0,715	1,80	0,853	0,836	0,812	0,766
0,68	0,851	0,831	0,798	0,717	1,85	0,853	0,836	0,812	0,767
0,70	0,851	0,832	0,798	0,719	1,90	0,853	0,836	0,813	0,768
0,72	0,851	0,832	0,799	0,721	1,95	0,853	0,836	0,813	0,769
0,74	0,851	0,832	0,799	0,723	2,00	0,853	0,836	0,813	0,770
0,76	0,851	0,832	0,800	0,724					
0,78	0,851	0,832	0,800	0,726	2,20	0,853	0,836	0,814	0,773
0,80	0,851	0,832	0,801	0,727	2,40	0,853	0,836	0,814	0,776
0,82	0,851	0,833	0,801	0,729	2,60	0,853	0,836	0,815	0,778
0,84	0,851	0,833	0,802	0,730	2,80	0,853	0,837	0,815	0,780
0,86	0,851	0,833	0,802	0,732	3,00	0,853	0,837	0,816	0,782
0,88	0,852	0,833	0,803	0,733	3,20	0,853	0,837	0,816	0,784
0,90	0,852	0,833	0,803	0,734	3,40	0,853	0,837	0,816	0,785
0,92	0,852	0,833	0,803	0,735	3,60	0,853	0,837	0,817	0,786
0,94	0,852	0,833	0,804	0,737	3,80	0,853	0,837	0,817	0,787
0,96	0,852	0,833	0,804	0,738	4,00	0,853	0,837	0,817	0,788
0,98	0,852	0,834	0,804	0,739					
1,00	0,852	0,834	0,805	0,740	4,50	0,853	0,837	0,818	0,791
					5,00	0,853	0,837	0,818	0,792
1,05	0,852	0,834	0,806	0,743	5,50	0,853	0,837	0,818	0,794
1,10	0,852	0,834	0,806	0,745	6,00	0,853	0,837	0,819	0,795
1,15	0,852	0,834	0,807	0,747					

TABLEAUX

RENFERMANT 538 EXPÉRIENCES SUR DES CANAUX DÉCOUVERTS, CLASSÉES SUIVANT LES DIFFÉRENTES NATURES DE PAROIS.

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$.	OBSERVATIONS.
			1° PAROIS TRÈS-UNIES (CIMENT, BOIS RABOTÉ AVEC SOIN, ETC.).				
			CANAL RECTANGULAIRE EN CIMENT. (Voir série n° 2.)				
1	0,051	0,000242	0,000238	64,3	64,8	+ 0,01	
2	0,077	0,000210	0,000209	69,0	69,2	0	
3	0,098	0,000204	0,000196	70,0	71,4	+ 0,02	
4	0,114	0,000187	0,000189	73,1	72,7	— 0,01	
5	0,131	0,000187	0,000184	73,1	73,7	+ 0,01	
6	0,145	0,000180	0,000181	74,5	74,3	0	
7	0,158	0,000179	0,000178	74,7	74,9	0	
8	0,170	0,000177	0,000176	75,2	75,4	0	
9	0,181	0,000174	0,000175	75,8	75,6	0	
10	0,193	0,000174	0,000173	75,8	76,0	0	
11	0,203	0,000173	0,000172	76,0	76,3	0	
12	0,212	0,000172	0,000171	76,3	76,5	0	
			CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT. (Voir série n° 24.)				
1	0,112	0,000197	0,000190	71,2	72,5	+ 0,02	Les vitesses expérimentales sont notablement plus grandes que les vitesses calculées, en raison de la forme demi-circulaire du canal; cette forme est, en effet, toutes circonstances égales d'ailleurs, la plus favorable à l'écoulement.
2	0,153	0,000179	0,000179	74,7	74,7	0	
3	0,184	0,000173	0,000174	76,0	75,8	0	
4	0,208	0,000159	0,000172	79,3	76,3	— 0,04	
5	0,229	0,000156	0,000170	80,1	76,7	— 0,04	
6	0,247	0,000151	0,000168	81,4	77,2	— 0,05	
7	0,264	0,000153	0,000167	80,8	77,4	— 0,04	
8	0,279	0,000148	0,000166	82,2	77,6	— 0,06	
9	0,289	0,000141	0,000166	84,2	77,7	— 0,08	
10	0,303	0,000140	0,000165	84,5	77,8	— 0,08	
11	0,314	0,000138	0,000164	85,1	78,0	— 0,08	
12	0,315	0,000137	0,000164	85,5	78,0	— 0,09	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT MÉLANGÉ D'UN TIERS DE SABLE SILICEUX TRÈS-FIN. (Voir série n° 25.)							
1	0,115	0,000226	0,000189	66,5	72,7	+ 0,09	La paroi en ciment mélangé d'un tiers de sable siliceux très-fin offrait plus de résistance à l'écoulement qu'une paroi en ciment pur; c'est à cette circonstance qu'il faut attribuer les différences qui existent entre les résultats des séries n°s 24 et 25.
2	0,161	0,000221	0,000178	67,3	74,9	+ 0,11	
3	0,194	0,000209	0,000173	69,2	76 0	+ 0,10	
4	0,215	0,000188	0,000171	72,9	76,5	+ 0,05	
5	0,240	0,000190	0,000169	72,5	76,9	+ 0,06	
6	0,256	0,000179	0,000168	74,7	77,1	+ 0,03	
7	0,274	0,000182	0,000166	74,1	77,5	+ 0,05	
8	0,287	0,000172	0,000166	76,3	77,7	+ 0,02	
9	0,300	0,000167	0,000165	77,4	77,8	+ 0,01	
10	0,307	0,000165	0,000165	77,8	77,9	0	
11	0,311	0,000163	0,000164	78,3	78,0	0	
12	0,317	0,000159	0,000164	79,3	78,1	— 0,02	
EXPÉRIENCE SUR LE PONT AQUEDUC DE ROQUEFAVOUR (FOND EN CIMENT, PAROIS LATÉRALES EN BRIQUES). (Voir série n° 1, expérience n° 1.)							
1	0,459	0,000174	0,000160	75,8	79,1	+ 0,04	
PETITS CANAUX RECTANGULAIRES EN BOIS RABOTÉ AVEC SOIN. (Voir séries n°s 28 et 29.)							
SÉRIE N° 28.							
1	0,0089	0,000563	0,000656	42,1	39,0	— 0,07	Ces petits canaux, creusés dans une seule pièce de bois et rabotés avec soin, offraient un degré de poli comparable à celui du ciment.
2	0,0158	0,000478	0,000435	45,7	48,0	+ 0,05	
3	0,0202	0,000410	0,000373	49,4	51,8	+ 0,05	
4	0,0228	0,000383	0,000347	51,1	53,7	+ 0,05	
5	0,0257	0,000344	0,000325	53,9	55,5	+ 0,03	
6	0,0277	0,000315	0,000312	56,3	56,6	+ 0,01	
7	0,0284	0,000308	0,000308	57,0	57,0	0	
SÉRIE N° 29.							
1	0,0092	0,000427	0,000639	48,4	39,6	— 0,18	
2	0,0131	0,000405	0,000494	49,7	45,0	— 0,09	
3	0,0162	0,000367	0,000428	52,2	48,3	— 0,07	
4	0,0186	0,000338	0,000392	54,4	50,5	— 0,07	
5	0,0225	0,000290	0,000350	58,7	53,5	— 0,09	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			2° PAROIS UNIES (PLANCHES, PIERRE DE TAILLE, BRIQUES, ETC.)				
			CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES. (Voir séries n°s 6, 7, 8, 9, 10, 11, 18, 19 et 20.)				
			SÉRIE N° 6.				
1	0,073	0,000378	0,000371	51,4	51,9	+ 0,01	Voir, pour l'expérience n° 13, la note de la page 78.
2	0,111	0,000343	0,000310	54,0	56,8	+ 0,05	
3	0,138	0,000311	0,000286	56,7	59,1	+ 0,04	
4	0,161	0,000289	0,000273	58,8	60,5	+ 0,03	
5	0,183	0,000287	0,000263	59,0	61,7	+ 0,05	
6	0,198	0,000259	0,000257	62,1	62,4	0	
7	0,215	0,000255	0,000252	62,6	63,0	+ 0,01	
8	0,231	0,000255	0,000248	62,6	63,5	+ 0,01	
9	0,244	0,000245	0,000244	63,9	64,0	0	
10	0,258	0,000242	0,000242	64,3	64,3	0	
11	0,268	0,000231	0,000239	65,8	64,7	— 0,02	
12	0,281	0,000232	0,000237	65,7	65,0	— 0,01	
13	0,418	0,000226	0,000222	66,5	67,1	+ 0,01	
			SÉRIE N° 7.				
1	0,057	0,000411	0,000422	49,3	48,7	— 0,01	Voir, pour l'expérience n° 13, la note de la page 78.
2	0,083	0,000320	0,000350	55,9	53,5	— 0,04	
3	0,104	0,000291	0,000318	58,6	56,1	— 0,04	
4	0,122	0,000274	0,000298	60,4	57,9	— 0,04	
5	0,138	0,000260	0,000286	62,0	59,1	— 0,05	
6	0,154	0,000257	0,000277	62,4	60,1	— 0,04	
7	0,167	0,000250	0,000270	63,2	60,9	— 0,04	
8	0,179	0,000243	0,000264	64,1	61,5	— 0,04	
9	0,191	0,000242	0,000260	64,3	62,0	— 0,04	
10	0,202	0,000236	0,000256	65,1	62,5	— 0,04	
11	0,213	0,000236	0,000252	65,1	63,0	— 0,03	
12	0,222	0,000229	0,000250	66,1	63,2	— 0,04	
13	0,339	0,000220	0,000229	67,4	66,1	— 0,02	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
				SÉRIE N° 8.			
1	0,045	0,000319	0,000488	56,0	45,3	— 0,19	L'expérience n° 1 paraît entachée d'erreur; la valeur de A devrait être plus élevée que pour l'expérience n° 2. Voir, pour l'expérience n° 13, la note de la page 78.
2	0,070	0,000319	0,000379	56,0	51,4	— 0,08	
3	0,088	0,000286	0,000341	59,1	54,2	— 0,08	
4	0,104	0,000272	0,000318	60,6	56,1	— 0,07	
5	0,120	0,000273	0,000301	60,5	57,6	— 0,05	
6	0,131	0,000257	0,000291	62,4	58,6	— 0,06	
7	0,142	0,000245	0,000284	63,9	59,3	— 0,07	
8	0,154	0,000247	0,000276	63,6	60,2	— 0,05	
9	0,165	0,000244	0,000271	64,0	60,8	— 0,05	
10	0,174	0,000240	0,000266	64,6	61,3	— 0,05	
11	0,184	0,000239	0,000262	64,7	61,8	— 0,04	
12	0,192	0,000232	0,000259	65,6	62,1	— 0,05	
13	0,300	0,000230	0,000234	65,9	65,4	— 0,01	
				SÉRIE N° 9.			
1	0,084	0,000420	0,000348	48,8	53,6	+ 0,10	
2	0,124	0,000354	0,000298	53,2	57,9	+ 0,09	
3	0,180	0,000302	0,000264	57,5	61,5	+ 0,07	
4	0,219	0,000269	0,000251	61,0	63,1	+ 0,03	
5	0,251	0,000247	0,000243	63,6	64,2	+ 0,01	
6	0,278	0,000231	0,000238	65,8	64,8	— 0,02	
7	0,304	0,000226	0,000234	66,5	65,4	— 0,02	
				SÉRIE N° 10.			
1	0,052	0,000373	0,000444	51,8	47,5	— 0,08	
2	0,078	0,000311	0,000361	56,7	52,6	— 0,07	
3	0,115	0,000266	0,000306	61,3	57,2	— 0,07	
4	0,144	0,000249	0,000282	63,4	59,6	— 0,06	
5	0,169	0,000240	0,000269	64,5	61,0	— 0,05	
6	0,190	0,000230	0,000260	65,9	62,0	— 0,06	
7	0,209	0,000223	0,000254	67,0	62,8	— 0,06	
				SÉRIE N° 11.			
1	0,045	0,000321	0,000488	55,8	45,3	— 0,19	L'expérience n° 1 paraît erronée, comme pour la série n° 8.
2	0,068	0,000296	0,000384	58,1	51,0	— 0,12	
3	0,102	0,000255	0,000321	62,6	55,8	— 0,11	
4	0,129	0,000246	0,000293	63,8	58,4	— 0,08	
5	0,153	0,000241	0,000277	64,4	60,1	— 0,07	
6	0,172	0,000232	0,000267	65,6	61,2	— 0,07	
7	0,189	0,000224	0,000260	66,8	62,0	— 0,07	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
				SÉRIE N° 18.			
1	0,072	0,000333	0,000375	54,8	51,6	— 0,06	
2	0,104	0,000280	0,000318	59,8	56,1	— 0,06	
3	0,130	0,000270	0,000292	60,9	58,5	— 0,04	
4	0,152	0,000260	0,000278	62,0	60,0	— 0,03	
5	0,170	0,000254	0,000268	62,8	61,1	— 0,03	
6	0,186	0,000251	0,000261	63,1	61,9	— 0,02	
7	0,202	0,000252	0,000256	63,0	62,5	— 0,01	
8	0,214	0,000247	0,000252	63,6	63,0	— 0,01	
9	0,226	0,000243	0,000249	64,2	63,4	— 0,01	
10	0,237	0,000241	0,000246	64,4	63,8	— 0,01	
11	0,246	0,000235	0,000244	65,2	64,0	— 0,02	
12	0,256	0,000234	0,000242	65,4	64,3	— 0,02	
				SÉRIE N° 19.			
1	0,065	0,000372	0,000394	51,9	50,4	— 0,03	
2	0,091	0,000349	0,000336	53,5	54,6	+ 0,02	
3	0,111	0,000300	0,000310	57,7	56,8	— 0,02	
4	0,126	0,000282	0,000296	59,5	58,1	— 0,02	
5	0,140	0,000269	0,000285	61,0	59,2	— 0,03	
6	0,152	0,000269	0,000277	61,0	60,1	— 0,01	
7	0,163	0,000258	0,000272	62,3	60,6	— 0,03	
8	0,172	0,000253	0,000267	62,9	61,2	— 0,03	
9	0,189	0,000248	0,000261	63,5	61,9	— 0,03	
10	0,202	0,000241	0,000256	64,4	62,5	— 0,03	
11	0,213	0,000235	0,000252	65,2	63,0	— 0,03	
				SÉRIE N° 20.			
1	0,072	0,000367	0,000374	52,2	51,7	— 0,01	
2	0,086	0,000347	0,000345	53,7	53,8	0	
3	0,093	0,000339	0,000333	54,3	54,8	+ 0,01	
4	0,097	0,000348	0,000328	53,6	55,2	+ 0,03	
5	0,106	0,000313	0,000316	56,5	56,3	0	
6	0,113	0,000300	0,000307	57,7	57,1	— 0,01	
7	0,120	0,000296	0,000301	58,1	57,6	— 0,01	
8	0,126	0,000294	0,000296	58,3	58 1	0	
9	0,131	0,000282	0,000291	59,5	58,6	— 0,02	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
			CANAUX TRAPÉZOÏDAUX EN PLANCHES. (Voir séries n°s 21 et 22.)				
			SÉRIE N° 21.				
1	0,102	0,000287	0,000321	59,0	55,8	— 0,05	
2	0,148	0,000279	0,000280	59,9	59,8	0	
3	0,179	0,000257	0,000265	62,4	61,4	— 0,02	
4	0,205	0,000253	0,000255	62,9	62,6	0	
5	0,227	0,000247	0,000249	63,6	63,4	0	
6	0,247	0,000245	0,000244	63,9	64,0	0	
7	0,264	0,000241	0,000240	64,4	64,5	0	
8	0,278	0,000232	0,000238	65,6	64,8	— 0,01	
9	0,292	0,000231	0,000236	65,8	65,1	— 0,01	
10	0,306	0,000229	0,000234	66,1	65,4	— 0,01	
11	0,319	0,000227	0,000232	66,4	65,6	— 0,01	
12	0,334	0,000227	0,000230	66,4	65,9	— 0,01	
			SÉRIE N° 22.				
1	0,079	0,000323	0,000359	55,6	52,8	— 0,05	
2	0,110	0,000261	0,000311	61,9	56,7	— 0,08	
3	0,137	0,000258	0,000287	62,3	59,0	— 0,05	
4	0,158	0,000248	0,000274	63,5	60,4	— 0,05	
5	0,174	0,000235	0,000266	65,2	61,3	— 0,06	
6	0,190	0,000237	0,000260	65,0	62,0	— 0,05	
7	0,203	0,000228	0,000256	66,2	62,5	— 0,06	
8	0,216	0,000228	0,000252	66,2	63,0	— 0,05	
9	0,226	0,000219	0,000249	67,6	63,4	— 0,06	
10	0,236	0,000217	0,000246	67,9	63,8	— 0,06	
11	0,246	0,000215	0,000244	68,2	64,0	— 0,06	
12	0,255	0,000214	0,000242	68,4	64,3	— 0,06	
			CANAL TRIANGULAIRE EN PLANCHES. (Voir série n° 23.)				
1	0,100	0,000309	0,000323	56,9	55,6	— 0,02	
2	0,129	0,000269	0,000293	61,0	58,4	— 0,04	
3	0,151	0,000257	0,000278	62,4	60,0	— 0,04	
4	0,167	0,000243	0,000270	64,1	60,9	— 0,05	
5	0,182	0,000237	0,000263	65,0	61,7	— 0,05	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
			CANAL TRIANGULAIRE EN PLANCHES (*SUITE*).				
6	0,196	0,000238	0,000258	64,8	62,3	— 0,04	
7	0,208	0,000235	0,000254	65,2	62,8	— 0,04	
8	0,219	0,000234	0,000251	65,4	63,1	— 0,04	
9	0,229	0,000231	0,000248	65,8	63,5	— 0,03	
10	0,239	0,000230	0,000246	65,9	63,8	— 0,03	
11	0,248	0,000230	0,000244	65,9	64,0	— 0,03	
12	0,256	0,000224	0,000242	66,8	64,3	— 0,04	
			CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN PLANCHES. (Voir série n° 26.)				
1	0,119	0,000283	0,000302	59,4	57,5	— 0,03	Les vitesses expérimentales sont supérieures aux vitesses calculées, en raison de la forme demi-circulaire du canal (voir l'observation relative à la série n° 24).
2	0,164	0,000253	0,000271	62,9	60,8	— 0,03	
3	0,193	0,000226	0,000259	66,5	62,1	— 0,07	
4	0,219	0,000217	0,000251	67,9	63,1	— 0,07	
5	0,243	0,000216	0,000245	68,0	63,9	— 0,06	
6	0,261	0,000207	0,000241	69,5	64,4	— 0,07	
7	0,281	0,000211	0,000237	68,8	65,0	— 0,06	
8	0,294	0,000200	0,000235	70,7	65,2	— 0,08	
9	0,309	0,000200	0,000233	70,7	65,5	— 0,07	
10	0,321	0,000193	0,000231	72,0	65,8	— 0,09	
11	0,334	0,000193	0,000230	72,0	65,9	— 0,09	
12	0,344	0,000187	0,000229	73,1	66,1	— 0,09	
13	0,351	0,000185	0,000228	73,5	66,2	— 0,10	
			EXPÉRIENCES DE DUBUAT SUR DE PETITS CANAUX EN PLANCHES.				
N°s du Recueil des cinq tables.			1° CANAL RECTANGULAIRE.				
25	0,0439	0,000319	0,000492	56,0	45,1	— 0,19	L'expérience n° 2 pour laquelle l'écart entre le calcul et l'expérience s'élève à 0,33, est signalée par Dubuat comme un peu incertaine, à cause de la difficulté de régler le canal dont la pente n'était que de $\frac{1}{10000}$ environ. Il en est de même de l'expérience n° 1.
16	0,0439	0,000351	0,000492	53,4	45,1	— 0,16	
6	0,0447	0,000510	0,000488	44,3	45,3	+ 0,02	
13	0,0602	0,000398	0,000413	50,1	49,2	— 0,02	
1	0,0740	0,000516	0,000370	44,0	52,0	+ 0,18	
18	0,0791	0,000380	0,000358	51,3	52,8	+ 0,03	
33	0,0857	0,000319	0,000345	56,0	53,8	— 0,04	
19	0,0954	0,000381	0,000329	51,2	55,1	+ 0,08	
2	0,1192	0,000539	0,000302	43,1	57,5	+ 0,33	

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			2° CANAL TRAPÉZOÏDAL.				
31	0,0391	0,000332	0,000531	54,9	43,4	— 0,21	Les expériences n°s 31 et 37 qui présentent des écarts de 0,21 et 0,13, méritent probablement moins de confiance que les autres, d'après la remarque faite par Dubuat, que le canal était difficile à régler pour les pentes trop faibles ou trop fortes (la pente était pour ces deux expériences de 0m,005 environ par mètre).
5	0,0414	0,000409	0,000511	49,5	44,2	— 0,11	
37	0,0464	0,000357	0,000477	52,9	45,8	— 0,13	
24	0,0481	0,000459	0,000467	46,7	46,3	— 0,01	
8	0,0546	0,000457	0,000433	46,8	48,1	+ 0,03	
11	0,0567	0,000341	0,000425	54,1	48,5	— 0,10	
26	0,0588	0,000456	0,000416	46,8	49,0	+ 0,05	
15	0,0608	0,000316	0,000409	56,3	49,5	— 0,12	
27	0,0670	0,000428	0,000389	48,3	50,7	+ 0,05	
29	0,0710	0,000409	0,000377	49,4	51,5	+ 0,04	
30	0,0869	0,000390	0,000343	50,6	54,0	+ 0,07	
32	0,0946	0,000373	0,000331	51,8	55,0	+ 0,06	
35	0,0956	0,000371	0,000329	51,9	55,1	+ 0,06	
38	0,1042	0,000363	0,000318	52,5	56,1	+ 0,07	
39	0,1071	0,000339	0,000314	54,3	56,4	+ 0,04	
41	0,1090	0,000339	0,000312	54,3	56,6	+ 0,04	
42	0,1109	0,000331	0,000310	55,0	56,8	+ 0,03	
Numéros des expériences.			CANAL RECTANGULAIRE EN BRIQUES. (Voir série n° 3.)				
1	0,059	0,000408	0,000417	49,5	49,0	— 0,01	
2	0,087	0,000340	0,000344	54,2	53,9	— 0,01	
3	0,111	0,000336	0,000309	54,6	56,9	+ 0,04	
4	0,129	0,000305	0,000293	57,3	58,4	+ 0,02	
5	0,147	0,000297	0,000281	58,0	59,7	+ 0,03	
6	0,165	0,000305	0,000271	57,3	60,7	+ 0,06	
7	0,178	0,000290	0,000265	58,7	61,4	+ 0,05	
8	0,189	0,000276	0,000260	60,2	62,0	+ 0,03	
9	0,204	0,000284	0,000255	59,3	62,6	+ 0,06	
10	0,212	0,000267	0,000253	61,2	62,9	+ 0,03	
11	0,225	0,000273	0,000249	60,5	63,4	+ 0,05	
12	0,237	0,000277	0,000246	60,1	63,8	+ 0,06	
			EXPÉRIENCE SUR LE PONT AQUEDUC DE CRAU (PAROIS EN PIERRE DE TAILLE). (Voir série n° 1, expérience n° 2.)				
2	0,541	0,000211	0,000215	68,8	68,2	— 0,01	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE MURÉE DU TILLOT (PAROIS EN PIERRE DE TAILLE). (Voir série n° 39.)				
1	0,124	0,000329	0,000297	55,1	58,0	+ 0,05	
2	0,174	0,000268	0,000266	61,1	61,3	0	
3	0,207	0,000270	0,000254	60,9	62,7	+ 0,03	
4	0,234	0,000266	0,000247	61,3	63,6	+ 0,04	
Nos du Recueil des cinq tables.			EXPÉRIENCES DE BIDONE SUR UN PETIT CANAL RECTANGULAIRE EN BRIQUES.				
92	0,0363	0,000383	0,000556	51,1	42,4	— 0,17	L'expérience n° 92 est certainement erronée; la valeur de A devrait être beaucoup plus grande que pour les deux suivantes.
93	0,0481	0,000381	0,000467	51,2	46,3	— 0,10	
94	0,0557	0,000379	0,000429	51.4	48,3	— 0,06	
			3° PAROIS PEU UNIES EN MAÇONNERIE DE MOELLONS.				
Numéros des expériences.			EXPÉRIENCES SUR LE CANAL DE MARSEILLE. (Voir série n° 1, expériences nos 3, 4, 5 et 6.)				
3	0,216	0,000534	0,000518	43,3	43,9	+ 0,01	
4	0,188	0,000624	0,000560	40,0	42,3	+ 0,06	
5	0,269	0,000608	0,000463	40,6	46,5	+ 0,15	
6	0,255	0,000548	0,000476	42,7	45,8	+ 0,07	
			EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU RÉSERVOIR DE GROSBOIS. (Voir séries nos 32 et 33.)				
			SÉRIE N° 32.				
1	0,099	0,000712	0,000847	37,5	34,4	— 0,08	
2	0,142	0,000591	0,000661	41,1	38,9	— 0,05	
3	0,177	0,000550	0,000580	42,6	41,5	— 0,03	
4	0,202	0,000493	0,000537	45,0	43,2	— 0,04	
			SÉRIE N° 33.				
1	0,129	0,000630	0,000704	39,8	37,7	— 0,05	
2	0,189	0,000573	0,000558	41,8	42,3	+ 0,01	
3	0,227	0,000493	0,000504	45,0	44,5	— 0,01	
4	0,260	0,000455	0,000471	46,9	46,1	— 0,02	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE GROSBOIS. (Voir séries n°s 44, 45 et 46.)				
			SÉRIE N° 44.				
1	0,327	0,000844	0,000423	34,4	48,6	+ 0,41	Les vitesses observées sont, pour les deux premières expériences, considérablement inférieures aux vitesses calculées. Cette différence s'explique en remarquant que le fond du canal en maçonnerie était recouvert de vase et de pierrailles qui retardaient beaucoup l'écoulement.
2	0,420	0,000556	0,000383	42,4	51,1	+ 0,21	
3	0,479	0,000462	0,000365	46,5	52,3	+ 0,12	
4	0,522	0,000356	0,000355	53,0	53,1	0	
			SÉRIE N° 45.				
1	0,298	0,000561	0,000441	42,2	47,6	+ 0,13	
2	0,394	0,000362	0,000392	52,6	50,5	— 0,04	
3	0,453	0,000358	0,000372	52,9	51,9	— 0,02	
4	0,487	0,000297	0,000363	58,0	52,5	— 0,09	
			SÉRIE N° 46.				
1	0,269	0,000866	0,000463	34,0	46,5	+ 0,37	Même observation que pour la série n° 44.
2	0,376	0,000663	0,000400	38,8	50,0	+ 0,29	
3	0,427	0,000572	0,000380	41,8	51,3	+ 0,23	
4	0,457	0,000436	0,000371	47,9	51,9	+ 0,08	
			4° PAROIS EN TERRE.				
			EXPÉRIENCES SUR LES RIGOLES DE GROSBOIS ET CHAZILLY. (Voir séries n°s 37, 38, 41, 47, 48, 49 et 50.)				
			SÉRIE N° 37.				
1	0,292	0,001633	0,001479	24,7	26,0	+ 0,05	
2	0,367	0,001150	0,001233	29,5	28,5	— 0,04	
3	0,429	0,001204	0,001096	28,8	30,2	+ 0,05	
4	0,475	0,001079	0,001017	30,4	31,4	+ 0,03	
			SÉRIE N° 38.				
1	0,292	0,001942	0,001479	22,7	26,0	+ 0,15	
2	0,360	0,001243	0,001252	28,4	28,3	0	
3	0,428	0,001415	0,001097	26,6	30,2	+ 0,14	
4	0,469	0,001300	0,001026	27,7	31,2	+ 0,13	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
				SÉRIE N° 41.			
1	0,318	0,001647	0,001380	24,6	26,9	+ 0,09	
2	0,421	0,001270	0,001112	28,1	30,0	+ 0,07	
3	0,478	0,001191	0,001012	29,0	31,4	+ 0,08	
4	0,522	0,001090	0,000950	30,3	32,4	+ 0,07	
				SÉRIE N° 47.			
1	0,332	0,002458	0,001335	20,2	27,4	+ 0,36	
2	0,420	0,001159	0,001113	29,4	30,0	+ 0,02	
3	0,496	0,001242	0,000986	28,4	31,8	+ 0,12	
4	0,522	0,000976	0,000951	32,0	32,4	+ 0,01	
				SÉRIE N° 48.			
1	0,301	0,001946	0,001445	22,7	26,3	+ 0,16	
2	0,395	0,001079	0,001166	30,4	29,3	— 0,04	
3	0,476	0,001083	0,001016	30,4	31,4	+ 0,03	
4	0,522	0,000948	0,000951	32,5	32,4	0	
				SÉRIE N° 49.			
1	0,293	0,001005	0,001475	31,5	26,0	— 0,17	
2	0,401	0,000667	0,001152	38,7	29,5	— 0,24	
3	0,477	0,000682	0,001013	38,3	31,4	— 0,18	
4	0,543	0,000749	0,000924	36,5	32,9	— 0,10	
				SÉRIE N° 50.			
1	0,320	0,001597	0,001375	25,0	27,0	+ 0,08	
2	0,432	0,000848	0,001091	34,3	30,3	— 0,12	
3	0,502	0,001064	0,000977	30,7	32,0	+ 0,04	
4	0,563	0,001005	0,000902	31,5	33,3	+ 0,06	
				EXPÉRIENCES SUR LE CANAL DE MARSEILLE. (Voir série n° 1, expérience n° 7.)			
7	0,875	0,000630	0,000680	39,8	38,4	— 0,04	

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
			EXPÉRIENCES DE DUBUAT SUR LE CANAL DU JARD.				
3	0,512	0,000988	0,000963	31,8	32,2	+ 0,01	Le fond du canal était garni de roseaux pour les expériences n°s 14 et 23, ce qui explique pourquoi les vitesses observées sont très-inférieures aux vitesses calculées.
4	0,582	0,001005	0,000781	31,5	35,8	+ 0,14	
7	0,625	0,000836	0,000840	34,6	34,5	0	
20	0,787	0,000482	0,000725	45,6	37,1	— 0,19	
14	0,880	0,001782	0,000678	23,7	38,4	+ 0,62	
23	1,094	0,001224	0,000600	28,6	40,8	+ 0,43	
			EXPÉRIENCES DE DUBUAT SUR LA RIVIÈRE DE HAYNE.				
17	1,472	0,000590	0,000518	41,2	43,9	+ 0,07	L'expérience n° 40 pour laquelle l'écart s'élève à 0,20, est signalée par Dubuat comme moins certaine, l'opération ayant été faite par un grand vent.
46	1,498	0,000465	0,000513	46,4	44,2	— 0,05	
40	1,749	0,000689	0,000480	38,1	45,6	+ 0,20	
22	1,776	0,000447	0,000477	47,3	45,8	— 0,03	
			EXPÉRIENCES DE FUNK SUR LE WESER.				
36	0,685	0,000517	0,000791	44,0	35,6	— 0,19	
49	1,371	0,000644	0,000535	39,4	43,2	+ 0,11	
69	1,596	0,000318	0,000499	56,1	44,8	— 0,20	
57	1,625	0,000544	0,000495	42,9	44,9	+ 0,05	
68	1,872	0,000424	0,000467	48,6	46,3	— 0,05	
74	2,033	0,000400	0,000452	50,0	47,0	— 0,06	
71	2,060	0,000498	0,000450	44,8	47,1	+ 0,05	
48	2,201	0,000412	0,000439	49,3	47,7	— 0,03	
76	2,262	0,000471	0,000435	46,1	48,0	+ 0,04	
79	2,315	0,000377	0,000431	51,5	48,2	— 0,06	
66	2,462	0,000352	0,000422	53,3	48,7	— 0,09	
80	2,482	0,000377	0,000421	51,5	48,7	— 0,05	
81	2,625	0,000378	0,000413	51,4	49,2	— 0,04	
51	2,650	0,000592	0,000412	41,1	49,3	+ 0,20	
82	2,722	0,000407	0,000409	49,6	49,5	0	
83	2,837	0,000393	0,000403	50,4	49,8	— 0,01	
58	2,876	0,000467	0,000402	46,3	49,9	+ 0,08	
85	2,962	0,000394	0,000398	50,4	50,1	— 0,01	
63	3,043	0,000425	0,000395	48,5	50,3	+ 0,04	

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
			EXPÉRIENCES DE FUNK SUR LE WESER (*SUITE*).				
72	3,111	0,000386	0,000393	50,9	50,4	— 0,01	
86	3,120	0,000377	0,000392	51,5	50,5	— 0,02	
84	3,187	0,000398	0,000390	50,1	50,6	+ 0,01	
65	3,208	0,000381	0,000389	51,2	50,7	— 0,01	
87	3,258	0,000371	0,000387	51,9	50,8	— 0,02	
70	3,412	0,000375	0,000383	51,6	51,1	— 0,01	
88	3,440	0,000386	0,000382	50,9	51,2	— 0,01	
89	3,566	0,000373	0,000378	51,8	51,4	— 0,01	
73	3,681	0,000360	0,000375	52,7	51,6	— 0,02	
75	3,802	0,000367	0.000372	52,2	51,9	— 0,01	
77	3,862	0,000348	0,000371	53,6	51,9	— 0,03	
91	3,933	0,000371	0,000369	51,9	52,1	0	
64	4,047	0,000386	0,000366	50,9	52,3	+ 0,03	
90	4,069	0,000386	0,000366	50,9	52,3	+ 0,03	
78	4,308	0,000357	0,000361	52,9	52,6	— 0,01	
			EXPÉRIENCES DE BRÜNINGS SUR LES BRAS DU RHIN.				
34	1,256	0,000429	0,000559	48,3	42,3	— 0,12	
59	2,085	0,000221	0,000448	67,3	47,3	— 0,30	
43	2,215	0,000393	0,000438	50,4	47,8	— 0,05	
47	2,350	0,000424	0,000429	48,6	48,3	— 0,01	
53	2,639	0,000461	0,000413	46,6	49,2	+ 0,06	
50	2,792	0,000386	0,000405	50,9	49,7	— 0,02	
56	2,855	0,000386	0,000403	50,9	49,8	— 0,02	
52	2,994	0,000332	0,000397	54,9	50,2	— 0,09	
45	3,128	0,000446	0,000392	47,4	50,5	+ 0,07	
60	3,558	0,000267	0,000378	61,2	51,4	— 0,16	
55	3,701	0,000313	0,000375	56,5	51,6	— 0,09	
44	3,793	0,000497	0,000372	44,9	51,9	+ 0,16	
67	3,805	0,000385	0,000372	51,0	51,9	+ 0,02	
62	4,960	0,000386	0,000355	50,9	53,4	+ 0,05	
54	5,106	0,000385	0,000349	51,0	53,5	+ 0,05	
61	5,181	0,000385	0,000348	51,0	53,6	+ 0,05	
			EXPÉRIENCES DE BONATI SUR LE PÔ.				
95	2,640	0,000342	0,000413	54,1	49,2	— 0,09	
96	3,736	0,000421	0,000374	48,7	51,7	+ 0,06	
97	7,080	0,000438	0,000329	47,8	55,1	+ 0,15	

NUMÉROS du Recueil des cinq tables.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			EXPÉRIENCES DE L'ÉCOLE DES PONTS ET CHAUSSÉES ROMAINE SUR LE PÔ ET LE TIBRE.				
99	2,852	0,000300	0,000402	57,7	49,9	— 0,14	
98	4,666	0,000354	0,000355	53,2	53,1	0	
Numéros des expériences.			EXPÉRIENCES SUR LA SEINE.				
			1re SÉRIE (EXÉCUTÉE À PARIS EN 1851 ET 1852).				
1	1,726	0,000539	0,000482	43,1	45,6	+ 0,06	
2	2,159	0,000603	0,000442	40,7	47,6	+ 0,17	
3	2,569	0,000639	0,000416	39,6	49,0	+ 0,24	
4	2,888	0,000383	0,000401	51,1	49,9	— 0,02	
5	3,328	0,000359	0,000385	52,8	51,0	— 0,03	
6	3,714	0,000384	0,000374	51,0	51,7	+ 0,01	
7	4,419	0,000372	0,000359	51,9	52,8	+ 0,02	
8	4,578	0,000339	0,000356	54,3	53,0	— 0,02	
9	4,855	0,000410	0,000352	49,4	53,3	+ 0,08	
10	5,135	0,000314	0,000348	56,4	53,6	— 0,05	
11	5,604	0,000283	0,000342	59,4	54,1	— 0,09	
			2e SÉRIE (EXÉCUTÉE À POISSY, TRIEL ET MEULAN, EN 1852 ET 1853).				
1	2,164	0,000393	0,000442	50,4	47,6	— 0,06	
2	2,340	0,000410	0,000430	49,4	48,2	— 0,02	
3	3,426	0,000377	0,000382	51,5	51,2	— 0,01	
4	3,788	0,000440	0,000372	47,7	51,8	+ 0,09	
5	4,136	0,000396	0,000365	50,3	52,3	+ 0,04	
6	4,328	0,000374	0,000361	51,7	52,6	+ 0,02	
7	4,835	0,000381	0,000352	51,2	53,3	+ 0,04	
8	5,134	0,000385	0,000348	51,0	53,6	+ 0,05	
9	5,445	0,000396	0,000344	50,3	53,9	+ 0,07	
			EXPÉRIENCES SUR LA SAÔNE, EXÉCUTÉES EN 1858 ET 1859.				
1	1,182	0,001598	0,000576	25,0	41,7	+ 0,67	Les trois premières expériences présentent des écarts très-considérables ; la pente constante de 0m,04 par kilomètre, adoptée pour toute la série, est probablement exagérée pour les premières expériences.
2	1,454	0,000946	0,000521	32,5	43,8	+ 0,35	
3	2,151	0,000950	0,000443	32,4	47,5	+ 0,47	
4	2,720	0,000457	0,000409	46,8	49,4	+ 0,06	
5	3,314	0,000415	0,000386	49,1	50,9	+ 0,04	
6	3,539	0,000418	0,000379	48,9	51,4	+ 0,05	
7	3,598	0,000411	0,000377	49,3	51,5	+ 0,04	
8	4,044	0,000343	0,000367	54,0	52,2	— 0,03	
9	4,463	0,000342	0,000358	54,1	52,8	— 0,02	
10	4,825	0,000367	0,000353	52,2	53,2	+ 0,02	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A.	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'.	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			5° EXPÉRIENCES QUI NE RENTRENT PAS COMPLÉTEMENT DANS LES QUATRE CATÉGORIES PRÉCÉDENTES.				
			EXPÉRIENCES SUR L'AQUEDUC DE DIJON (PAROI EN CIMENT UN PEU ONDULÉE).				
			1° EXPÉRIENCES FAITES PAR M. DARCY EN 1842.				
1	0,0459	0,000514	0,000480	44,1	45,6	+ 0,03	Bien que la paroi soit en ciment, les valeurs de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$ ont été calculées à l'aide de la formule n° 2 (parois en planches, en pierre de taille, etc.); les vitesses calculées sont même encore supérieures aux vitesses observées. L'enduit en ciment qui recouvre les parois de l'aqueduc est un peu ondulé, et sur quelques points un peu rugueux, par suite de légers dépôts calcaires. Cette circonstance explique comment la résistance à l'écoulement est à peu près aussi considérable que sur de la pierre de taille.
2	0,0507	0,000521	0,000452	43,8	47,0	+ 0,07	
3	0,0619	0,000407	0,000405	49,6	49,7	0	
4	0,0652	0,000466	0,000394	46,3	50,4	+ 0,09	
5	0,0751	0,000426	0,000367	48,5	52,2	+ 0,08	
6	0,0756	0,000467	0,000366	46,3	52,3	+ 0,13	
7	0,0782	0,000563	0,000360	42,1	52,7	+ 0,25	
8	0,0782	0,000376	0,000360	51,6	52,7	+ 0,02	
9	0,0792	0,000449	0,000358	47,2	52,9	+ 0,12	
10	0,0792	0,000426	0,000358	48,5	52,9	+ 0,09	
11	0,0816	0,000367	0,000353	52,2	53,2	+ 0,02	
12	0,0871	0,000383	0,000343	51,1	54,0	+ 0,06	
13	0,0881	0,000380	0,000341	51,3	54,2	+ 0,06	
14	0,0909	0,000451	0,000336	47,1	54,6	+ 0,16	
15	0,0935	0,000367	0,000332	52,2	54,9	+ 0,05	
16	0,0943	0,000501	0,000331	44,7	55,0	+ 0,23	
17	0,0988	0,000352	0,000325	53,3	55,5	+ 0,04	
18	0,1008	0,000404	0,000322	49,8	55,7	+ 0,12	
19	0,1032	0,000425	0,000319	48,5	56,0	+ 0,15	
20	0,1144	0,000294	0,000306	58,3	57,2	— 0,02	
21	0,1168	0,000375	0,000304	51,6	57,4	+ 0,11	
22	0,1181	0,000292	0,000303	58,5	57,4	— 0,02	
23	0,1284	0,000294	0,000294	58,3	58,3	0	
24	0,1325	0,000294	0,000290	58,3	58,7	+ 0,01	
			2° EXPÉRIENCES FAITES EN 1856.				
1	0,1081	0,000406	0,000313	49,6	56,5	+ 0,14	Ces expériences ont eu lieu dans la partie de l'aqueduc la plus rapprochée de Dijon, dont la pente est de 0m,00094 par mètre.
2	0,1152	0,000359	0,000305	52,8	57,3	+ 0,09	
3	0,1188	0,000326	0,000302	55,4	57,5	+ 0,04	
4	0,1218	0,000314	0,000299	56,4	57,8	+ 0,02	
5	0,1243	0,000289	0,000297	58,8	58,0	— 0,01	
6	0,1310	0,000270	0,000292	60,9	58,5	— 0,04	
7	0,1438	0,000240	0,000282	64,6	59,6	— 0,08	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
EXPÉRIENCE FAITE PAR M. BELGRAND, EN 1857, DANS L'AQUEDUC DE CEINTURE DE PARIS. (Voir série n° 81.)							
1	0,34 à 0,49	0,000390	0,000416 à 0,000362	50,6	49,0 à 52,6	— 0,03 à + 0,04	Les valeurs de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$ ont été calculées à l'aide de la formule n° 3 (parois en maçonnerie de moellons), et s'accordent très-bien avec l'expérience. L'aqueduc est revêtu en ciment, mais le fond et même les parois sont recouverts d'une légère couche de vase, qui augmente beaucoup la résistance à l'écoulement.
EXPÉRIENCES SUR UNE RIGOLE DU CANAL DE BOURGOGNE (RIGOLE DE DÉCHARGE DU BIEF N° 52). (Voir séries n°s 34 et 35.)							
SÉRIE N° 34.							
1	0,2608	0,002331	0,001622	20,7	24,8	+ 0,20	Les talus de la rigole étaient revêtus d'un perré recouvert de mousse. La résistance à l'écoulement est à peu près la même que dans un canal en terre (à l'exception toutefois de l'expérience n° 1). Les valeurs de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$, calculées d'après la formule n° 4 (parois en terre), diffèrent peu des valeurs obtenues expérimentalement.
2	0,3312	0,001574	0,001337	25,2	27,3	+ 0,08	
3	0,4215	0,001277	0,001110	28,0	30,0	+ 0,07	
4	0,4833	0,001111	0,001004	30,0	31,6	+ 0,05	
5	0,5162	0,001003	0,000958	31,6	32,3	+ 0,02	
SÉRIE N° 35.							
1	0,2144	0,001024	0,001912	31,3	22,9	— 0,27	Avant de procéder à ces expériences, on avait soigneusement enlevé la mousse qui recouvrait le perré. Cette opération a considérablement diminué la résistance à l'écoulement. Les valeurs de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$ sont, comme pour la série n° 34, calculées au moyen de la formule n° 4. Les vitesses obtenues par l'expérience surpassent les vitesses calculées d'environ un quart.
2	0,2836	0,000801	0,001514	35,3	25,7	— 0,27	
3	0,3740	0,000715	0,001216	37,4	28,7	— 0,23	
4	0,4249	0,000635	0,001104	39,7	30,1	— 0,24	
5	0,4544	0,000547	0,001050	42,8	30,9	— 0,28	
EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE CHAZILLY. (Voir série n° 42.)							
1	0,305	0,001693	0,001429	24,3	26,4	+ 0,09	Le fond de la rigole était en terre, la paroi de droite en maçonnerie à mortier, la paroi de gauche en maçonnerie à pierres sèches. Les valeurs de A et $\frac{1}{\sqrt{A}}$, calculées d'après la formule n° 4 (parois en terre), ne s'écartent pas trop des résultats de l'expérience.
2	0,416	0,001049	0,001122	30,9	29,9	— 0,03	
3	0,469	0,000933	0,001027	32,7	31,2	— 0,04	
4	0,508	0,000882	0,000969	33,7	32,1	— 0,05	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE CHAZILLY. (Voir séries n°s 36, 40 et 43.)				
			SÉRIE N° 36.				
1	0,347	0,003053	0,001290	18,1	27,8	+ 0,54	Fond et talus couverts d'herbes; aussi les vitesses, calculées d'après la formule n° 4 (parois en terre), sont-elles notablement trop fortes.
2	0,433	0,001787	0,001089	23,7	30,3	+ 0,28	
3	0,492	0,001618	0,000991	24,8	31,8	+ 0,28	
4	0.530	0,001296	0,000940	27,8	32,6	+ 0,17	
			SÉRIE N° 40.				
1	0,320	0,002767	0,001372	19,0	27,0	+ 0,42	Fond et talus rocheux, présentant de fortes inégalités; les vitesses, calculées d'après la formule n° 4 (parois en terre), sont beaucoup trop fortes.
2	0,417	0,002240	0,001120	21,1	29,9	+ 0,42	
3	0,463	0,001962	0,001036	22,6	31,1	+ 0,38	
4	0,498	0,001766	0,000982	23,8	31,9	+ 0,34	
			SÉRIE N° 43.				
1	0,324	0,001851	0,001359	23,2	27,1	+ 0,17	Même observation que pour la série n° 36.
2	0,430	0,001567	0,001094	25,3	30,2	+ 0,19	
3	0,489	0,001455	0,000995	26,2	31,7	+ 0,21	
4	0,537	0,001345	0,000931	27,3	32,8	+ 0,20	
N^{os} du Recueil des cinq tables.			EXPÉRIENCE DE FUNK (EN PETIT, N° 28 DU RECUEIL DES CINQ TABLES).				
28	0,029	0,000784	"	35,7	"	"	L'état de la paroi n'étant pas connu pour cette expérience, il n'est pas possible de la faire rentrer dans l'une des quatre catégories précédentes.
			EXPÉRIENCES DE WOLTMANN.				
12	0,202	0,000431	"	84,2	"	"	Même observation que pour l'expérience ci-dessus.
21	0,312	0,000351	"	35,4	"	"	
10	0,462	0,000502	"	44,6	"	"	
9	0,541	0,000456	"	46,8	"	"	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			6° EXPÉRIENCES SUR DES NATURES DE PAROI QUE L'ON NE RENCONTRE PAS HABITUELLEMENT DANS LA PRATIQUE, MAIS QUI PEUVENT ÊTRE EMPLOYÉES DANS DES RECHERCHES EXPÉRIMENTALES.				
			CANAUX REVÊTUS DE GRAVIER MAINTENU PAR UN ENDUIT EN CIMENT. (Voir séries n°s 4, 5 et 27.)				
			SÉRIE N° 4.				
1	0,076	0,000862	"	34,1	"	"	La paroi était revêtue de gravier de 0^m,01 à 0^m,02 de diamètre, incrusté dans un enduit en ciment; elle présentait, du reste, une grande régularité dans son ensemble. La résistance à l'écoulement est un peu inférieure à celle des parois en maçonnerie de moellons (formule n° 3).
2	0,109	0,000661	"	38,9	"	"	
3	0,137	0,000625	"	40,0	"	"	
4	0,159	0,000567	"	42,0	"	"	
5	0,179	0,000550	"	42,6	"	"	
6	0,196	0,000528	"	43,5	"	"	
7	0,213	0,000523	"	43,7	"	"	
8	0,227	0,000504	"	44,5	"	"	
9	0,239	0,000481	"	45,6	"	"	
10	0,254	0,000483	"	45,5	"	"	
11	0,265	0,000475	"	45,9	"	"	
12	0,277	0,000472	"	46,0	"	"	
			SÉRIE N° 27.				
1	0,138	0,000534	"	43,3	"	"	Même observation que pour la série n° 4.
2	0,167	0,000493	"	45,0	"	"	
3	0,189	0,000489	"	45,2	"	"	
4	0,208	0,000466	"	46,3	"	"	
5	0,223	0,000464	"	46,4	"	"	
6	0,239	0,000457	"	46,8	"	"	
7	0,252	0,000463	"	46,5	"	"	
8	0,274	0,000457	"	46,8	"	"	
9	0,295	0,000450	"	47,1	"	"	
10	0,309	0,000427	"	48,4	"	"	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			SÉRIE N° 5.				
1	0,089	0,001454	"	26,2	"	"	La paroi ne différait de celle qui a été employée pour les séries n°s 4 et 27 que par la grosseur du gravier, qui avait de 0m,03 à 0m,04 de diamètre. La résistance à l'écoulement, sans être aussi grande que dans un canal en terre, est notablement plus grande que dans un canal en maçonnerie de moellons.
2	0,127	0,001132	"	29,7	"	"	
3	0,155	0,000974	"	32,0	"	"	
4	0,179	0,000880	"	33,7	"	"	
5	0,200	0,000830	"	34,7	"	"	
6	0,217	0,000772	"	36,0	"	"	
7	0,235	0,000763	"	36,2	"	"	
8	0,251	0,000740	"	36,8	"	"	
9	0,264	0,000710	"	37,5	"	"	
10	0,277	0,000690	"	38,1	"	"	
11	0,288	0,000664	"	38,8	"	"	
12	0,301	0,000661	"	38,9	"	"	
		CANAUX REVÊTUS DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,01. (Voir séries n°s 12, 13 et 14.)					
			SÉRIE N° 12.				
1	0,092	0,000548	"	42,7	"	"	La paroi en planches était recouverte de liteaux en bois de 0m,027 de largeur et 0m,01 d'épaisseur, cloués transversalement à 0m,01 les uns des autres. La résistance à l'écoulement produite par cette disposition est intermédiaire entre celles des parois en pierres de taille (formule n° 2) et des parois en maçonnerie de moellons (formule n° 3).
2	0,135	0,000459	"	46,7	"	"	
3	0,193	0,000396	"	50,3	"	"	
4	0,236	0,000368	"	52,1	"	"	
5	0,271	0,000352	"	53,3	"	"	
6	0,300	0,000338	"	54,4	"	"	
7	0,328	0,000338	"	54,4	"	"	
			SÉRIE N° 13.				
1	0,063	0,000636	"	39,6	"	"	Même observation que pour la série n° 12.
2	0,092	0,000526	"	43,6	"	"	
3	0,135	0,000441	"	47,6	"	"	
4	0,168	0,000414	"	49,2	"	"	
5	0,196	0,000392	"	50,5	"	"	
6	0,218	0,000367	"	52,2	"	"	
7	0,241	0,000365	"	52,3	"	"	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}} - 1$	OBSERVATIONS.
			SÉRIE N° 14.				
1	0,056	0,000654	"	39,1	"	"	Même observation que pour la série n° 12.
2	0,083	0,000563	"	42,1	"	"	
3	0,123	0,000483	"	45,5	"	"	
4	0,152	0,000436	"	47,9	"	"	
5	0,178	0,000415	"	49,1	"	"	
6	0,201	0,000406	"	49,6	"	"	
7	0,221	0,000401	"	49,9	"	"	
		CANAUX REVÊTUS DE LITEAUX ESPACÉS DE $0^m,05$. (Voir séries n°s 15, 16 et 17.)					
			SÉRIE N° 15.				
1	0,115	0,001135	"	29,7	"	"	La paroi ne différait de celle qui a été employée pour les séries n°s 12, 13 et 14, que par l'espacement des liteaux, qui avait été porté à $0^m,05$. Cette modification a augmenté la résistance à l'écoulement, qui est devenue notablement supérieure à celle des parois en maçonnerie de moellons (formule n° 3).
2	0,168	0,000956	"	32,3	"	"	
3	0,237	0,000782	"	35,8	"	"	
4	0,287	0,000713	"	37,5	"	"	
5	0,327	0,000668	"	38,7	"	"	
6	0,365	0,000670	"	38,6	"	"	
7	0,396	0,000659	"	39,0	"	"	
			SÉRIE N° 16.				
1	0,081	0,001408	"	26,7	"	"	Même observation que pour la série n° 15.
2	0,117	0,001138	"	29,6	"	"	
3	0,169	0,000942	"	32,6	"	"	
4	0,209	0,000880	"	33,7	"	"	
5	0,241	0,000824	"	34,8	"	"	
6	0,269	0,000789	"	35,6	"	"	
7	0,294	0,000773	"	36,0	"	"	
			SÉRIE N° 17.				
1	0,071	0,001379	"	26,9	"	"	Même observation que pour la série n° 15.
2	0,107	0,001253	"	28,2	"	"	
3	0,155	0,001053	"	30,8	"	"	
4	0,191	0,000956	"	32,3	"	"	
5	0,221	0,000896	"	33,4	"	"	
6	0,248	0,000867	"	34,0	"	"	
7	0,270	0,000829	"	34,7	"	"	

NUMÉROS des expériences.	VALEURS de R	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après l'expérience A	VALEURS DE A ou $\frac{RI}{U^2}$ d'après le calcul A'	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après l'expérience $\frac{1}{\sqrt{A}}$	VALEURS DE $\frac{1}{\sqrt{A}}$ d'après le calcul $\frac{1}{\sqrt{A'}}$	DIFFÉRENCE proportionnelle $\sqrt{\frac{A}{A'}}-1$	OBSERVATIONS.
			PETITS CANAUX RECTANGULAIRES REVÊTUS DE TOILE. (Voir séries n°s 30 et 31.)				
			SÉRIE N° 30.				
1	0,0116	0,001973	"	22,5	"	"	La paroi en bois était recouverte de forte toile d'emballage clouée avec soin sur toute la surface. Ces expériences n'ont qu'un caractère tout à fait spécial et ne s'appliquent qu'à des valeurs très-petites du rayon moyen. La résistance à l'écoulement paraît peu différente de celle d'une paroi en pierre de taille (formule n° 2).
2	0,0139	0,001546	"	25,4	"	"	
3	0,0169	0,001188	"	29,0	"	"	
4	0,0205	0,001015	"	31,4	"	"	
5	0,0239	0,000921	"	33,0	"	"	
6	0,0311	0,000768	"	36,1	"	"	
			SÉRIE N° 31.				
1	0,0093	0,003218	"	17,6	"	"	Même observation que pour la série n° 30.
2	0,0121	0,002920	"	18,5	"	"	
3	0,0156	0,001793	"	23,6	"	"	
4	0,0164	0,001712	"	24,2	"	"	
5	0,0200	0,001364	"	27,1	"	"	
6	0,0205	0,001282	"	27,9	"	"	
7	0,0242	0,001084	"	30,4	"	"	
8	0,0272	0,000990	"	31,8	"	"	
9	0,0291	0,000955	"	32,4	"	"	

APPENDICE.

L'appendice suivant renferme tous les renseignements qui, bien que nécessaires pour reconstituer au besoin les expériences, eussent occupé trop de place dans le corps de l'ouvrage.

Les 95 séries d'expériences peuvent se partager en deux catégories bien distinctes, pour chacune desquelles les renseignements sont présentés d'une manière différente.

1° EXPÉRIENCES AYANT POUR OBJET DE RELEVER LE PROFIL EN LONG D'UN COURANT.

Elles se répartissent ainsi :

Expériences faites dans la rigole spécialement construite à cet effet près du canal de Bourgogne	37 séries, n°s 2 à 27, 78 à 82 et 89 à 94.
Expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne	19 séries, n°s 32 à 50.
Expériences sur un petit canal en bois	4 séries, n°s 28 à 31.
Expériences sur le canal de Marseille	2 séries, n°s 1 et 95.
Expériences sur l'aqueduc de ceinture	1 série, n° 83.

Après avoir donné pour chaque série les renseignements généraux, tels que la pente, la figure de la section transversale, la nature de la paroi, l'intensité et la direction du vent, la température de l'eau, etc. on a groupé les éléments de chaque expérience dans 3 tableaux désignés par les lettres A, B et C.

Le tableau A renferme toutes les données géométriques, c'est-à-dire le nivellement complet du fond et les profondeurs du courant à chaque profil; pour les 37 séries exécutées dans la rigole expérimentale, on a adopté une seule et même série de profils. Le profil n° 1 se trouvait à l'extrémité amont de la rigole, et la série se continue sans interruption jusqu'au profil n° 389, placé à l'extrémité aval, à 596^{m}, 50 de l'origine.

Le tableau B contient, sous une forme synoptique, le calcul des éléments principaux de l'expérience, débit par seconde, section, péri-

mètre mouillé, rayon moyen, vitesse moyenne, valeur du coefficient $A = \frac{RI}{U^2}$.

Enfin, on a réuni dans le tableau C les données relatives à la mesure de la vitesse *maxima*, soit à l'aide du tube jaugeur, soit à l'aide des flotteurs.

Les tableaux B et C n'existent pas pour les 13 séries n°s 78 à 83 et n°s 89 à 95, dans lesquelles le régime du courant n'était pas uniforme.

2° EXPÉRIENCES AYANT POUR BUT DE DÉTERMINER LA RÉPARTITION DES VITESSES DANS L'INTÉRIEUR DE LA SECTION D'UN COURANT.

Elles forment 27 séries, n°s 51 à 77 et n°s 84 à 88; elles ont toutes été exécutées dans la rigole expérimentale (à l'exception toutefois de trois, n°s 75, 76 et 77; ces dernières ont eu lieu sur les rigoles de Grosbois et de Chazilly).

Il était inutile de reproduire ici les vitesses obtenues en chaque point, ces vitesses ayant été données intégralement dans le corps de l'ouvrage; les renseignements ne forment donc que deux tableaux.

On a réuni dans le tableau A les données générales de chaque expérience, débit par seconde, vitesse moyenne, température de l'eau, direction et intensité du vent. Le point du courant où l'on opérait y est, en outre, indiqué par le numéro du profil correspondant.

Le tableau B renferme les données géométriques à l'aide desquelles on peut reconstruire exactement la section transversale du canal. Un certain nombre de points du fond du canal et de la surface de l'eau pour chaque expérience y sont en effet déterminés au moyen de leurs coordonnées par rapport à deux axes rectangulaires. Celui des ordonnées est habituellement une verticale qui partage la section du courant en deux parties symétriques.

Quelques renseignements spéciaux n'auraient pu entrer dans le cadre des tableaux dont la composition vient d'être expliquée; ils sont donnés, lorsqu'il y a lieu, sous forme d'observations particulières.

SÉRIE N° 1. (Voir p. 73-74, pl. V.)

EXPÉRIENCES SUR LE CANAL DE MARSEILLE ET SUR LE PONT AQUEDUC DE CRAU.

	EXPÉRIENCE n° 1.	EXPÉRIENCE n° 2.	EXPÉRIENCE n° 3.	EXPÉRIENCE n° 4.	EXPÉRIENCE n° 5.	EXPÉRIENCE n° 6.	EXPÉRIENCE n° 7.
Pente longitudinale du fond.....	0,00372	0,00084	0,029	0,060	0,0121	0,014	0,00043
Figure de la section transversale.....	Trapèze peu différent d'un rectangle. (Voir pl. V, fig. 1.)	Rectangle. (Voir pl. V, fig. 8.)	Trapèze peu différent d'un rectangle. (Voir pl. V, fig. 2.)	Trapèze peu différent d'un rectangle. (Voir pl. V, fig. 3.)	Trapèze peu différent d'un rectangle. (Voir p. V, fig. 4.)	Trapèze peu différent d'un rectangle. (Voir pl. V, fig. 5.)	Trapèze. (Voir pl. V, fig. 7.)
Nature de la paroi	Enduit en ciment sur le fond, parois latérales en briques.	Pierre de taille.	Parement peu uni en maçonnerie.	Parement peu uni en maçonnerie.	Parement peu uni en maçonnerie.	Parement peu uni en maçonnerie.	Parois en terre. Fond envasé.
Direction du vent..... Intensité du vent	Vent d'amont assez fort.	"	Temps calme.	Temps calme.	Temps calme au début et vent d'aval sur la fin.	Temps calme au début et vent d'aval sur la fin.	Vent fort d'amont.
Température de l'eau.....	"	"	"	"	"	"	"
Dates des expériences.....	17 mai 1855.	23 mai 1855.	14 mai 1855.	14 mai 1855.	20 mai 1855.	20 mai 1855.	18 mai 1855.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

PAROIS UNIES
EN MAÇONNERIE OU CIMENT.

Numéro et distance de chaque profil à l'origine. Numéro.	Distance.	Cotes de nivellement du fond (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	Profondeur du courant à chaque profil (cette profondeur est prise dans l'axe du courant).
EXPÉRIENCE N° 1. Pont aqueduc de Roquefavour.			
1	0	0	0,783
2	20	0,061	0,772
3	40	0,150	0,786
4	60	0,223	0,764
5	80	0,317	0,748
6	100	0,380	0,779
7	120	0,469	0,753
8	140	0,531	0,769
9	160	0,598	0,786
10	180	0,668	0,791
11	200	0,744	0,761
Moyenne.....			0,772
EXPÉRIENCE N° 2. Pont aqueduc de Crau.			
1	0	0	0,985
2	25	0,039	0,993
3	50	0,050	0,976
4	75	0,051	0,942
5	100	0,095	0,958
6	125	0,123	0,946
7	150	0,131	0,925
8	175	0,150	0,891
9	200	0,159	0,857
10	225	0,203	0,898
11	250	0,216	0,893
12	275	0,230	0,870
Moyenne.....			0,928

PAROIS PEU UNIES
EN MAÇONNERIE.

Numéro et distance de chaque profil à l'origine. Numéro.	Distance.	Cotes de nivellement du fond (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	Profondeur du courant à chaque profil (cette profondeur est prise dans l'axe du courant).
EXPÉRIENCE N° 3. Dérivation de Longchamp (pont des Religieuses).			
1	0	0	0,366
2	17	0,493	0,361
Moyenne.....			0,363
EXPÉRIENCE N° 4. Dérivation de Longchamp (entre la passerelle et la partie couverte de Chighizola).			
1	0	0	0,284
2	20	1,178	0,294
3	40	2,402	0,283
Moyenne.....			0,287
EXPÉRIENCE N° 5. Dérivation de Longchamp (à Bellevue).			
1	0	0	0,483
2	4,30	0,049	0,578
3	8,07	0,092	0,491
4	10,39	0,119	0,541
5	12,84	0,147	0,495
6	15,08	0,173	0,513
7	20,00	0,229	0,422
8	23,70	0,276	0,400
9	29,97	0,357	0,481
10	38,09	0,460	0,482
11	40,00	0,485	0,466
Moyenne.....			0,487
EXPÉRIENCE N° 6. Dérivation de Longchamp (à Bellevue).			
1	0	0	0,478
2	13,51	0,185	0,410
3	16,28	0,223	0,520
4	20,00	0,274	0,475
5	40,00	0,559	0,480
Moyenne.....			0,473

PAROIS
EN TERRE.

Numéro et distance de chaque profil à l'origine. Numéro.	Distance.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	Profondeur du courant à chaque profil (cette profondeur est prise dans l'axe du courant).
EXPÉRIENCE N° 7. A Réaltore.			
1	0	0	1,400
2	25	0,012	1,390
3	50	0,026	1,415
4	75	0,034	1,335
5	100	0,044	1,345
6	125	0,054	1,350
7	150	0,062	1,335
8	175	0,071	1,350
9	200	0,084	1,360
10	225	0,096	1,360
11	250	0,106	1,355
12	275	0,118	1,368
13	300	0,127	1,380
14	325	0,139	1,382
15	350	0,147	1,380
16	375	0,158	1,375
17	400	0,170	1,350
18	425	0,181	1,370
19	450	0,192	1,400
Moyenne.....			1,368

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE dans l'axe du courant h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	5,174	0,772	1,6544	3,608	0,4585	3,127	0,000174
2	4,070	0,928	2,4035	4,446	0,5406	1,693	0,000211
3	1,244	0,363	0,3634	1,684	0,2158	3,423	0,000534
4	1,244	0,287	0,2930	1,562	0,1876	4,246	0,000624
5	1,244	0,487	0,5380	2,003	0,2686	2,312	0,000608
6	1,244	0,473	0,4881	1,918	0,2545	2,549	0,000548
7	4,748	1,368	6,1446	7,022	0,8750	0,773	0,000630

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	3,512	3,127	0,890	3,550	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir :
2	"	"	"	1,933	À L'AIDE DES FLOTTEURS.
3	4,170	3,423	0,821	"	Expér. n° 1, entre les profils n°s 6 et 9. Expér. n° 3, entre les profils n°s 1 et 2.
4	5,690	4,246	0,746	"	Expér. n° 4, entre les profils n°s 1 et 3. Expér. n° 6, entre les profils n°s 1 et 5.
5	"	"	"	"	À L'AIDE DU TUBE JAUGEUR.
6	3,180	2,549	0,802	"	Expérience n° 1, au profil n° 7. Expérience n° 2, au profil n° 12. Expérience n° 7, au profil n° 12.
7	"	"	"	1,080	

SÉRIE N° 2. (Voir p. 75-76, pl. VI.)

CANAL RECTANGULAIRE EN CIMENT.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,812 de largeur. — Nature de la paroi : Ciment pur. — Direction et intensité du vent : temps calme. — Température de l'eau : 12°. — Dates des expériences : 21, 22 et 23 oct. 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
7	11,98	0	1,842	0,084	0,135	0,178	0,209	0,252	0,286	0,327	0,355	0,387	0,409	0,447	0,470
9	16,06	"	1,816	0,055	0,091	0,120	0,147	0,168	0,196	0,226	0,236	0,266	0,288	0,304	0,320
11	20,05	0,026	1,816	0,060	0,091	0,123	0,141	0,168	0,193	0,223	0,238	0,264	0,280	0,296	0,321
14	25,44	"	1,813	0,051	0,087	0,118	0,139	0,168	0,185	0,216	0,234	0,250	0,275	0,299	0,314
16	29,36	0,078	1,811	0,059	0,092	0,124	0,146	0,171	0,189	0,214	0,228	0,256	0,269	0,296	0,311
18	33,24	"	1,814	0,051	0,081	0,111	0,132	0,163	0,178	0,205	0,224	0,239	0,271	0,283	0,294
20	37,19	"	1,810	0,049	0,070	0,099	0,121	0,150	0,165	0,188	0,203	0,224	0,249	0,273	0,289
22	40,03	0,122	1,810	0,055	0,085	0,112	0,135	0,157	0,176	0,203	0,232	0,241	0,259	0,269	0,294
23	41,77	"	1,807	0,056	0,091	0,107	0,133	0,158	0,170	0,199	0,219	0,234	0,258	0,270	0,292
24	43,53	"	1,812	0,056	0,085	0,114	0,137	0,155	0,169	0,197	0,217	0,243	0,262	0,270	0,290
25	45,18	"	1,818	0,058	0,088	0,117	0,141	0,168	0,184	0,204	0,219	0,236	0,258	0,264	0,284
26	46,80	"	1,810	0,059	0,093	0,111	0,147	0,165	0,182	0,200	0,219	0,234	0,249	0,265	0,287
27	48,40	"	1,813	0,050	0,085	0,107	0,133	0,154	0,179	0,195	0,213	0,227	0,243	0,263	0,278
28	50,35	0,175	1,812	0,056	0,083	0,109	0,134	0,152	0,176	0,195	0,214	0,231	0,249	0,262	0,278
29	52,30	"	1,814	0,048	0,082	0,104	0,132	0,152	0,167	0,202	0,216	0,231	0,243	0,257	0,280
30	53,95	"	1,818	0,057	0,087	0,110	0,123	0,152	0,165	0,202	0,210	0,224	0,241	0,258	0,279
31	55,55	"	1,811	0,075	0,089	0,117	0,139	0,156	0,174	0,199	0,218	0,239	0,242	0,263	0,288
32	57,22	"	1,813	0,070	0,101	0,119	0,138	0,168	0,178	0,211	0,221	0,237	0,245	0,278	0,295
33	58,62	"	1,805	0,070	0,092	0,120	0,135	0,166	0,182	0,205	0,221	0,239	0,253	0,278	0,296
34	60,00	0,217	1,812	0,058	0,088	0,112	0,131	0,159	0,182	0,204	0,217	0,237	0,255	0,274	0,285
35	61,59	"	1,812	0,056	0,089	0,120	0,138	0,160	0,174	0,200	0,210	0,231	0,260	0,270	0,286
36	62,91	"	1,817	0,054	0,081	0,107	0,134	0,158	0,164	0,190	0,218	0,236	0,249	0,264	0,294
37	64,15	"	1,814	0,053	0,083	0,110	0,135	0,152	0,173	0,191	0,212	0,230	0,240	0,268	0,280
38	65,58	"	1,816	0,060	0,083	0,114	0,123	0,152	0,172	0,198	0,212	0,227	0,246	0,264	0,281
39	67,23	"	1,819	0,056	0,053	0,112	0,129	0,159	0,175	0,198	0,212	0,223	0,251	0,269	0,276
40	68,87	"	1,805	0,061	0,072	0,115	0,135	0,164	0,180	0,198	0,214	0,234	0,256	0,265	0,286
41	70,87	0,270	1,820	0,052	0,084	0,114	0,126	0,166	0,177	0,193	0,211	0,225	0,249	0,261	0,284

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
42	72,85	"	1,806	0,067	0,084	0,112	0,137	0,153	0,177	0,194	0,220	0,228	0,247	0,266	0,285
43	74,61	"	1,820	0,054	0,095	0,114	0,136	0,158	0,177	0,196	0,217	0,228	0,255	0,257	0,279
44	76,33	"	1,813	0,049	0,086	0,113	0,127	0,153	0,174	0,192	0,214	0,228	0,249	0,257	0,279
45	78,04	"	1,807	0,051	0,079	0,110	0,130	0,150	0,169	0,189	0,213	0,222	0,252	0,265	0,276
46	79,04	"	1,807	0,052	0,080	0,110	0,134	0,151	0,162	0,188	0,203	0,225	0,228	0,255	0,270
47	80,04	0,321	1,813	0,058	0,086	0,104	0,124	0,151	0,178	0,189	0,209	0,230	0,252	0,264	0,276
48	82,00	"	1,806	0,054	0,085	0,109	0,132	0,158	0,168	0,191	0,209	0,228	0,241	0,258	0,272
49	83,66	"	1,817	0,059	0,086	0,117	0,138	0,158	0,168	0,191	0,207	0,226	0,250	0,257	0,277
50	85,30	"	1,807	0,053	0,085	0,108	0,139	0,148	0,174	0,197	0,220	0,234	0,249	0,268	0,284
51	86,96	"	1,807	0,062	0,089	0,113	0,138	0,165	0,173	0,193	0,211	0,226	0,238	0,259	0,271
52	88,64	"	1,812	0,057	0,080	0,107	0,135	0,153	0,166	0,189	0,212	0,223	0,240	0,268	0,285
53	90,25	0,368	1,810	0,044	0,075	0,104	0,120	0,139	0,162	0,178	0,206	0,222	0,228	0,257	0,266
54	91,75	"	1,810	0,052	0,092	0,114	0,126	0,153	0,167	0,186	0,200	0,227	0,237	0,254	0,270
55	93,19	"	1,810	0,055	0,082	0,113	0,128	0,145	0,166	0,191	0,209	0,229	0,243	0,262	0,271
56	94,72	"	1,805	0,060	0,087	0,112	0,125	0,152	0,175	0,186	0,204	0,220	0,238	0,257	0,273
57	96,48	"	1,811	0,055	0,085	0,109	0,133	0,159	0,173	0,185	0,207	0,224	0,247	0,260	0,277
58	98,36	"	1,807	0,049	0,082	0,107	0,127	0,149	0,170	0,199	0,212	0,219	0,239	0,254	0,266
59	100,00	0,418	1,826	0,048	0,085	0,107	0,132	0,143	0,172	0,186	0,202	0,219	0,237	0,255	0,274
60	101,59	"	1,817	0,054	0,084	0,108	0,127	0,154	0,166	0,189	0,200	0,226	0,232	0,250	0,272
61	103,15	"	1,815	0,052	0,082	0,112	0,125	0,155	0,174	0,191	0,208	0,228	0,244	0,260	0,275
62	104,74	"	1,810	0,051	0,082	0,107	0,138	0,156	0,171	0,182	0,200	0,222	0,246	0,260	0,273
63	106,04	"	1,810	0,050	0,084	0,107	0,130	0,146	0,169	0,194	0,207	0,229	0,247	0,260	0,282
64	107,31	"	1,810	0,052	0,078	0,102	0,130	0,141	0,175	0,192	0,204	0,225	0,237	0,254	0,269
65	108,70	"	1,806	0,048	0,083	0,106	0,132	0,154	0,178	0,188	0,207	0,222	0,242	0,261	0,280
66	110,00	0,470	1,810	0,052	0,085	0,107	0,129	0,150	0,172	0,182	0,206	0,225	0,243	0,256	0,276
67	111,34	"	1,807	0,060	0,088	0,109	0,133	0,159	0,167	0,190	0,216	0,228	0,240	0,262	0,277
68	112,65	"	1,808	0,056	0,085	0,108	0,139	0,157	0,172	0,195	0,211	0,229	0,248	0,260	0,278
69	113,99	"	1,813	0,074	0,098	0,116	0,132	0,152	0,176	0,196	0,206	0,228	0,250	0,272	0,276
70	115,34	"	1,814	0,057	0,088	0,110	0,134	0,155	0,180	0,189	0,212	0,235	0,244	0,257	0,275
71	116,68	"	1,807	0,082	0,084	0,121	0,142	0,156	0,185	0,198	0,221	0,236	0,247	0,268	0,281
72	118,34	"	1,804	0,050	0,085	0,114	0,141	0,165	0,179	0,194	0,221	0,236	0,248	0,266	0,276
73	120,00	0,511	1,813	0,047	0,081	0,107	0,131	0,151	0,171	0,187	0,206	0,224	0,234	0,261	0,284
74	121,71	"	1,808	0,053	0,081	0,104	0,128	0,153	0,181	0,192	0,211	0,228	0,238	0,268	0,273
75	123,66	"	1,805	0,046	0,071	0,101	0,126	0,153	0,168	0,189	0,202	0,211	0,227	0,253	0,274
76	125,66	"	1,810	0,060	0,085	0,115	0,131	0,152	0,177	0,197	0,209	0,232	0,236	0,266	0,283
77	127,04	"	1,806	0,055	0,086	0,113	0,132	0,151	0,176	0,199	0,213	0,230	0,250	0,264	0,268
78	128,34	"	1,810	0,052	0,084	0,104	0,132	0,154	0,169	0,189	0,205	0,221	0,244	0,266	0,281
79	129,71	0,566	1,806	0,057	0,080	0,104	0,123	0,148	0,173	0,191	0,209	0,220	0,242	0,256	0,265
80	131,71	"	1,808	0,059	0,084	0,108	0,135	0,150	0,174	0,195	0,216	0,231	0,241	0,264	0,274
81	133,65	"	1,810	0,058	0,093	0,111	0,134	0,159	0,177	0,191	0,212	0,228	0,251	0,265	0,281
82	135,65	0,594	1,810	0,046	0,074	0,106	0,128	0,150	0,170	0,187	0,207	0,226	0,245	0,259	0,266

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 34 ET 66.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0542	0,0982	1,9204	0,0511	1,018	0,000242
2	0,203	0,0837	0,1517	1,9794	0,0766	1,338	0,000210
3	0,307	0,1102	0,1997	2,0324	0,0982	1,537	0,000204
4	0,411	0,1310	0,2374	2,0740	0,1144	1,731	0,000187
5	0,515	0,1534	0,2780	2,1188	0,1312	1,853	0,000187
6	0,618	0,1719	0,3115	2,1558	0,1445	1,984	0,000180
7	0,721	0,1912	0,3464	2,1944	0,1579	2,081	0,000179
8	0,824	0,2095	0,3796	2,2310	0,1701	2,171	0,000177
9	0,927	0,2266	0,4106	2,2652	0,1813	2,258	0,000174
10	1,030	0,2444	0,4428	2,3008	0,1925	2,326	0,000174
11	1,133	0,2609	0,4727	2,3338	0,2026	2,397	0,000173
12	1,236	0,2773	0,5025	2,3666	0,2123	2,460	0,000172

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.'	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,219	0,970	0,796	1,245	Les vitesses maxima ont été mesurées savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 59 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 22 et n° 53.
2	1,598	1,312	0,821	1,687	
3	1,849	1,518	0,821	1,879	
4	2,072	1,700	0,821	2,156	
5	2,237	1,815	0,811	2,284	
6	2,368	1,968	0,831	2,381	
7	2,521	2,030	0,805	2,470	
8	2,562	2,119	0,827	2,609	
9	2,713	2,218	0,818	2,748	
10	2,833	2,292	0,809	2,881	
11	2,873	2,364	0,823	2,945	
12	2,954	2,416	0,818	3,027	

SÉRIE N° 3. (Voir p. 75-76, pl. VI.)

CANAL RECTANGULAIRE EN BRIQUES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,911 de largeur. — Nature de la paroi : briques posées à plat. — Direction et intensité du vent : vent assez fort venant de côté pour les expériences nos 1 à 11 et d'aval pour l'expérience n° 12. — Température de l'eau : 19° pour les expériences 1 à 11 et 21° pour l'expérience 12. — Dates des expériences : 28, 29 août ; 1, 2 et 3 septembre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.
7	11,98	0	1,915	0,093	0,142	0,172	0,192	0,224	0,251	0,276	0,335	0,378	0,402	0,411	0,446
9	16,06	"	1,911	0,063	0,085	0,133	0,146	0,170	0,199	0,231	0,255	0,288	0,312	0,341	0,369
11	20,05	0,026	1,913	0,069	0,109	0,137	0,166	0,188	0,220	0,234	0,254	0,293	0,309	0,333	0,353
14	25,44	"	1,908	0,064	0,093	0,125	0,161	0,173	0,200	0,229	0,246	0,272	0,289	0,318	0,334
16	29,36	0,078	1,906	0,068	0,102	0,136	0,169	0,189	0,217	0,247	0,266	0,299	0,305	0,325	0,345
18	33,24	"	1,910	0,056	0,095	0,135	0,160	0,182	0,211	0,230	0,253	0,277	0,289	0,313	0,335
20	37,19	"	1,908	0,057	0,088	0,120	0,141	0,170	0,196	0,215	0,233	0,252	0,264	0,285	0,304
22	40,03	0,122	1,907	0,075	0,116	0,167	0,155	0,184	0,214	0,237	0,249	0,279	0,292	0,328	0,344
23	41,77	"	1,904	0,061	0,104	0,135	0,143	0,187	0,211	0,231	0,258	0,286	0,295	0,313	0,340
24	43,53	"	1,904	0,071	0,119	0,144	0,163	0,185	0,209	0,229	0,251	0,276	0,290	0,302	0,322
25	45,18	"	1,910	0,070	0,110	0,139	0,167	0,195	0,220	0,236	0,253	0,278	0,298	0,314	0,334
26	46,80	"	1,905	0,087	0,094	0,122	0,151	0,176	0,203	0,222	0,249	0,270	0,302	0,309	0,330
27	48,40	"	1,907	0,068	0,097	0,125	0,152	0,178	0,193	0,217	0,241	0,260	0,276	0,304	0,321
28	50,35	0,175	1,912	0,081	0,106	0,130	0,160	0,170	0,197	0,215	0,236	0,261	0,268	0,305	0,323
29	52,30	"	1,910	0,066	0,108	0,134	0,159	0,177	0,211	0,222	0,241	0,265	0,276	0,298	0,321
30	53,95	"	1,919	0,064	0,105	0,119	0,143	0,172	0,197	0,208	0,231	0,258	0,276	0,289	0,315
31	55,55	"	1,906	0,082	0,114	0,146	0,187	0,226	0,229	0,232	0,252	0,268	0,291	0,302	0,333
32	57,22	"	1,910	0,072	0,124	0,158	0,204	0,194	0,211	0,255	0,273	0,292	0,283	0,329	0,366
33	58,62	"	1,910	0,062	0,103	0,134	0,157	0,189	0,221	0,240	0,251	0,287	0,293	0,325	0,357
34	60,00	0,217	1,900	0,057	0,093	0,124	0,152	0,175	0,201	0,221	0,236	0,263	0,276	0,295	0,329
35	61,59	"	1,910	0,059	0,096	0,126	0,150	0,170	0,202	0,218	0,237	0,258	0,269	0,290	0,324
36	62,91	"	1,912	0,072	0,111	0,152	0,150	0,178	0,202	0,218	0,240	0,261	0,268	0,307	0,326
37	64,15	"	1,911	0,057	0,089	0,119	0,153	0,169	0,199	0,212	0,234	0,254	0,271	0,297	0,317
38	65,58	"	1,910	0,065	0,098	0,133	0,160	0,180	0,206	0,222	0,241	0,262	0,275	0,301	0,329
39	67,23	"	1,903	0,082	0,126	0,133	0,163	0,177	0,208	0,230	0,247	0,266	0,281	0,312	0,335
40	68,87	"	1,910	0,061	0,090	0,132	0,153	0,185	0,203	0,224	0,240	0,270	0,286	0,308	0,326
41	70,87	0,270	1,902	0,071	0,090	0,124	0,145	0,172	0,204	0,222	0,235	0,260	0,271	0,293	0,314

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
42	72,85	"	1,915	0,058	0,089	0,128	0,148	0,180	0,205	0,222	0,239	0,258	0,276	0,299	0,320
43	74,61	"	1,909	0,066	0,093	0,124	0,144	0,172	0,201	0,213	0,231	0,258	0,270	0,290	0,317
44	76,33	"	1,913	0,061	0,096	0,125	0,154	0,180	0,204	0,224	0,230	0,256	0,271	0,290	0,324
45	78,04	"	1,913	0,055	0,082	0,118	0,137	0,164	0,194	0,211	0,231	0,260	0,264	0,291	0,307
46	79,04	"	1,915	0,058	0,086	0,120	0,134	0,163	0,196	0,218	0,236	0,252	0,259	0,280	0,305
47	80,04	0,321	1,910	0,078	0,096	0,100	0,146	0,171	0,199	0,213	0,229	0,251	0,263	0,293	0,314
48	82,00	"	1,910	0,079	0,102	0,122	0,157	0,172	0,194	0,213	0,230	0,251	0,260	0,289	0,315
49	83,66	"	1,914	0,076	0,109	0,142	0,176	0,189	0,208	0,233	0,240	0,268	0,282	0,305	0,329
50	85,30	"	1,914	0,054	0,091	0,121	0,142	0,172	0,199	0,216	0,233	0,263	0,269	0,295	0,314
51	86,96	"	1,924	0,067	0,099	0,139	0,164	0,181	0,199	0,223	0,244	0,271	0,275	0,300	0,321
52	88,64	"	1,916	0,073	0,098	0,132	0,144	0,182	0,207	0,224	0,244	0,269	0,282	0,300	0,319
53	90,25	0,368	1,913	0,055	0,091	0,127	0,147	0,171	0,200	0,213	0,237	0,257	0,278	0,294	0,328
54	91,75	"	1,915	0,037	0,090	0,124	0,147	0,169	0,195	0,213	0,229	0,255	0,270	0,289	0,308
55	93,19	"	1,906	0,051	0,083	0,121	0,135	0,169	0,192	0,214	0,228	0,258	0,269	0,282	0,294
56	94,72	"	1,915	0,082	0,107	0,136	0,148	0,177	0,196	0,222	0,236	0,257	0,267	0,284	0,299
57	96,48	"	1,908	0,063	0,110	0,132	0,162	0,182	0,197	0,222	0,249	0,263	0,285	0,301	0,319
58	98,36	"	1,918	0,065	0,100	0,130	0,160	0,175	0,205	0,217	0,236	0,259	0,286	0,300	0,323
59	100,00	0,418	1,912	0,066	0,093	0,123	0,147	0,170	0,195	0,219	0,230	0,252	0,279	0,300	0,312
60	101,59	"	1,920	0,057	0,096	0,125	0,146	0,177	0,197	0,219	0,238	0,259	0,281	0,300	0,317
61	103,15	"	1,903	0,046	0,079	0,120	0,137	0,159	0,185	0,208	0,223	0,244	0,266	0,285	0,302
62	104,74	"	1,905	0,053	0,090	0,119	0,143	0,162	0,190	0,213	0,242	0,257	0,277	0,300	0,308
63	106,04	"	1,905	0,055	0,086	0,118	0,144	0,164	0,191	0,216	0,230	0,252	0,272	0,284	0,300
64	107,34	"	1,907	0,056	0,090	0,119	0,142	0,164	0,191	0,204	0,227	0,258	0,271	0,281	0,299
65	108,70	"	1,907	0,084	0,130	0,122	0,154	0,165	0,189	0,206	0,230	0,255	0,267	0,282	0,306
66	110,00	0,470	1,905	0,085	0,137	0,153	0,187	0,175	0,197	0,212	0,227	0,257	0,271	0,303	0,310
67	111,34	"	1,907	0,067	0,115	0,139	0,165	0,199	0,214	0,228	0,243	0,277	0,285	0,312	0,330
68	112,65	"	1,908	0,078	0,134	0,164	0,183	0,200	0,225	0,237	0,247	0,269	0,287	0,313	0,326
69	113,99	"	1,908	0,083	0,134	0,157	0,175	0,205	0,238	0,260	0,273	0,279	0,303	0,318	0,340
70	115,34	"	1,903	0,067	0,112	0,133	0,171	0,208	0,221	0,252	0,271	0,277	0,303	0,323	0,344
71	116,68	"	1,907	0,092	0,130	0,169	0,206	0,227	0,240	0,276	0,277	0,288	0,312	0,336	0,347
72	118,34	"	1,906	0,063	0,093	0,129	0,159	0,186	0,207	0,233	0,257	0,289	0,312	0,326	0,344
73	120,00	0,511	1,909	0,056	0,095	0,125	0,152	0,175	0,201	0,223	0,228	0,260	0,285	0,299	0,317
74	121,71	"	1,907	0,078	0,088	0,121	0,146	0,168	0,195	0,226	0,247	0,254	0,281	0,299	0,315
75	123,66	"	1,908	0,052	0,089	0,117	0,147	0,170	0,187	0,210	0,232	0,256	0,274	0,292	0,325
76	125,66	"	1,905	0,077	0,130	0,128	0,158	0,187	0,207	0,225	0,237	0,262	0,275	0,297	0,323
77	127,04	"	1,905	0,065	0,102	0,140	0,164	0,187	0,209	0,225	0,239	0,268	0,276	0,302	0,329
78	128,34	"	1,910	0,055	0,088	0,120	0,147	0,172	0,195	0,212	0,235	0,265	0,276	0,290	0,314
79	129,71	0,566	1,903	0,054	0,088	0,131	0,139	0,177	0,190	0,223	0,219	0,244	0,266	0,287	0,307
80	131,71	"	1,909	0,063	0,101	0,139	0,159	0,175	0,198	0,226	0,240	0,263	0,274	0,294	0,316
81	133,65	"	1,908	0,085	0,124	0,128	0,154	0,176	0,196	0,214	0,235	0,256	0,261	0,292	0,318
82	135,65	0,594	1,905	0,080	0,123	0,121	0,145	0,177	0,192	0,217	0,240	0,251	0,274	0,295	0,313

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 34 ET 64.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0624	0,1192	2,0358	0,0586	0,839	0,000408
2	0,203	0,0951	0,1817	2,1012	0,0865	1,117	0,000340
3	0,307	0,1261	0,2410	2,1632	0,1114	1,274	0,000336
4	0,411	0,1493	0,2853	2,2096	0,1291	1,440	0,000305
5	0,515	0,1733	0,3312	2,2576	0,1467	1,555	0,000297
6	0,618	0,1989	0,3801	2,3088	0,1646	1,626	0,000305
7	0,721	0,2180	0,4166	2,3470	0,1775	1,731	0,000290
8	0,824	0,2355	0,4500	2,3820	0,1889	1,831	0,000276
9	0,927	0,2589	0,4948	2,4288	0,2037	1,874	0,000284
10	1,030	0,2732	0,5221	2,4574	0,2124	1,973	0,000267
11	1,133	0,2947	0,5632	2,5004	0,2252	2,012	0,000273
12	1,236	0,3159	0,6037	2,5428	0,2374	2,047	0,000277

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,029	0,778	0,756	1,076	Les vitesses maxima ont été mesurées savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 59 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 22 et n° 53.
2	1,374	1,054	0,767	1,364	
3	1,644	1,226	0,746	1,620	
4	1,777	1,388	0,781	1,793	
5	1,905	1,505	0,790	1,909	
6	2,050	1,574	0,768	2,027	
7	2,207	1,693	0,767	2,145	
8	2,317	1,789	0,772	2,235	
9	2,414	1,829	0,758	2,355	
10	2,536	1,931	0,762	2,427	
11	2,614	1,967	0,753	2,548	
12	2,667	1,987	0,745	2,611	

SÉRIE N° 4. (Voir p. 75-77, pl. VI.)

CANAL RECTANGULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,832 de largeur. — Nature de la paroi : gravier de 0m,01 à 0m,02 de diamètre maintenu par un enduit en ciment. — Direction et intensité du vent : temps calme, sauf pour les expériences n°s 8 et 9, pendant lesquelles régnait un vent d'aval assez fort. — Température de l'eau : 14°,5. — Dates des expériences : 9, 10, 11, et 13 octobre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

Numéro de chaque profil.	Distance à l'origine.	Cotes de nivellement du fond (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	Largeur de la section à chaque profil	Profondeur du courant a chaque profil. Expérience n° 1. Débit par seconde 0m3,100.	Expérience n° 2. Débit par seconde 0m3,203.	Expérience n° 3. Débit par seconde 0m3,307.	Expérience n° 4. Débit par seconde 0m3,411.	Expérience n° 5. Débit par seconde 0m3,515.	Expérience n° 6. Débit par seconde 0m3,618.	Expérience n° 7. Débit par seconde 0m3,721.	Expérience n° 8. Débit par seconde 0m3,824.	Expérience n° 9. Débit par seconde 0m3,927.	Expérience n° 10. Débit par seconde 1m3,030.	Expérience n° 11. Débit par seconde 1m3,133.	Expérience n° 12. Débit par seconde 1m3,236.
7	11,98	0	1,850	0,087	0,147	0,177	0,209	0,246	0,299	0,386	0,370	0,400	0,482	0,457	0,485
9	16,06	»	1,830	0,087	0,137	0,174	0,218	0,246	0,283	0,304	0,329	0,339	0,375	0,409	0,456
11	20,05	0,026	1,837	0,075	0,119	0,154	0,190	0,217	0,252	0,282	0,315	0,328	0,354	0,377	0,409
14	25,44	»	1,828	0,084	0,126	0,160	0,200	0,231	0,260	0,292	0,321	0,334	0,360	0,376	0,406
16	29,36	0,078	1,827	0,083	0,127	0,168	0,202	0,232	0,266	0,298	0,315	0,334	0,361	0,382	0,409
18	33,24	»	1,831	0,096	0,140	0,188	0,217	0,245	0,272	0,303	0,325	0,346	0,366	0,384	0,405
20	37,19	»	1,824	0,086	0,135	0,167	0,198	0,230	0,261	0,295	0,318	0,342	0,372	0,403	0,427
22	40,03	0,122	1,831	0,096	0,141	0,178	0,208	0,237	0,276	0,305	0,331	0,342	0,362	0,386	0,412
23	41,77	»	1,821	0,084	0,127	0,162	0,196	0,224	0,252	0,284	0,297	0,320	0,346	0,375	0,410
24	43,53	»	1,830	0,092	0,128	0,169	0,199	0,236	0,260	0,294	0,312	0,330	0,370	0,397	0,418
25	45,18	»	1,837	0,075	0,119	0,147	0,177	0,212	0,245	0,274	0,297	0,325	0,347	0,365	0,383
26	46,80	»	1,839	0,078	0,121	0,154	0,187	0,224	0,247	0,285	0,316	0,330	0,359	0,365	0,411
27	48,40	»	1,833	0,082	0,115	0,154	0,184	0,219	0,248	0,274	0,294	0,319	0,341	0,362	0,379
28	50,35	0,175	1,842	0,089	0,132	0,174	0,202	0,241	0,263	0,291	0,313	0,336	0,359	0,382	0,408
29	52,30	»	1,834	0,074	0,119	0,149	0,181	0,212	0,239	0,263	0,288	0,309	0,337	0,360	0,388
30	53,95	»	1,836	0,089	0,136	0,178	0,210	0,234	0,264	0,290	0,324	0,351	0,379	0,399	0,427
31	55,35	»	1,829	0,099	0,142	0,182	0,213	0,245	0,268	0,295	0,334	0,358	0,376	0,398	0,424
32	57,22	»	1,829	0,090	0,130	0,167	0,201	0,242	0,258	0,292	0,321	0,333	0,356	0,378	0,404
33	58,62	»	1,818	0,084	0,123	0,162	0,195	0,224	0,242	0,274	0,294	0,318	0,350	0,368	0,394
34	60,00	0,217	1,830	0,073	0,119	0,146	0,175	0,205	0,230	0,254	0,285	0,300	0,322	0,348	0,370
35	61,59	»	1,830	0,076	0,114	0,142	0,170	0,201	0,227	0,256	0,281	0,303	0,327	0,356	0,377
36	62,91	»	1,844	0,073	0,116	0,148	0,178	0,219	0,246	0,271	0,299	0,319	0,348	0,369	0,402
37	64,15	»	1,840	0,080	0,120	0,160	0,197	0,228	0,259	0,282	0,308	0,326	0,354	0,379	0,402
38	65,58	»	1,833	0,084	0,128	0,161	0,197	0,231	0,251	0,280	0,307	0,323	0,357	0,380	0,409
39	67,23	»	1,845	0,087	0,123	0,163	0,197	0,227	0,255	0,281	0,311	0,333	0,363	0,382	0,407
40	68,87	»	1,820	0,081	0,116	0,153	0,187	0,212	0,244	0,271	0,292	0,308	0,331	0,350	0,377
41	70,87	0,270	1,838	0,082	0,121	0,157	0,186	0,217	0,245	0,274	0,298	0,314	0,348	0,369	0,394

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION À chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.c.,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m.c.,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.c.,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.c.,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.c.,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m.c.,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m.c.,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m.c.,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m.c.,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m.c.,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m.c.,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m.c.,236.
42	72,85	"	1,825	0,083	0,111	0,149	0,171	0,203	0,235	0,259	0,280	0,309	0,336	0,353	0,375
43	74,61	"	1,839	0,076	0,121	0,152	0,180	0,213	0,245	0,274	0,301	0,322	0,350	0,371	0,395
44	76,33	"	1,833	0,080	0,116	0,151	0,177	0,218	0,241	0,269	0,292	0,312	0,330	0,357	0,377
45	78,04	"	1,822	0,083	0,123	0,155	0,185	0,220	0,246	0,271	0,296	0,314	0,343	0,372	0,396
46	79,04	"	1,837	0,073	0,119	0,156	0,182	0,218	0,247	0,281	0,304	0,325	0,356	0,378	0,398
47	80,04	0,321	1,838	0,082	0,121	0,164	0,199	0,232	0,256	0,277	0,302	0,328	0,355	0,383	0,406
48	82,00	"	1,831	0,086	0,134	0,175	0,198	0,237	0,265	0,289	0,306	0,334	0,359	0,385	0,404
49	83,66	"	1,837	0,081	0,121	0,157	0,189	0,217	0,244	0,270	0,294	0,320	0,351	0,377	0,398
50	85,30	"	1,827	0,086	0,128	0,167	0,199	0,232	0,255	0,283	0,309	0,333	0,355	0,383	0,400
51	86,96	"	1,828	0,086	0,127	0,166	0,195	0,230	0,250	0,282	0,300	0,319	0,342	0,360	0,387
52	88,64	"	1,826	0,085	0,122	0,165	0,186	0,211	0,230	0,257	0,274	0,301	0,331	0,358	0,381
53	90,25	0,368	1,832	0,074	0,106	0,139	0,166	0,193	0,226	0,261	0,285	0,305	0,329	0,360	0,382
54	91,75	"	1,829	0,076	0,125	0,155	0,186	0,218	0,244	0,275	0,296	0,316	0,345	0,368	0,393
55	93,19	"	1,821	0,085	0,127	0,173	0,200	0,226	0,256	0,282	0,302	0,329	0,351	0,376	0,399
56	94,72	"	1,827	0,085	0,120	0,163	0,199	0,229	0,251	0,275	0,305	0,326	0,352	0,374	0,399
57	96,48	"	1,841	0,078	0,116	0,154	0,184	0,211	0,239	0,264	0,294	0,313	0,337	0,356	0,381
58	98,36	"	1,828	0,073	0,112	0,150	0,178	0,202	0,233	0,267	0,289	0,308	0,334	0,352	0,375
59	100,00	0,418	1,843	0,081	0,124	0,169	0,201	0,229	0,257	0,281	0,303	0,320	0,351	0,376	0,396
60	101,59	"	1,832	0,087	0,123	0,163	0,199	0,229	0,244	0,268	0,294	0,318	0,345	0,364	0,389
61	103,15	"	1,838	0,081	0,116	0,163	0,189	0,208	0,236	0,270	0,297	0,327	0,356	0,375	0,399
62	104,74	"	1,828	0,088	0,129	0,171	0,203	0,217	0,258	0,287	0,307	0,331	0,356	0,380	0,400
63	106,04	"	1,828	0,084	0,126	0,169	0,196	0,224	0,252	0,281	0,302	0,328	0,363	0,386	0,410
64	107,34	"	1,820	0,081	0,120	0,163	0,197	0,221	0,257	0,289	0,325	0,349	0,375	0,393	0,414
65	108,70	"	1,832	0,097	0,136	0,177	0,211	0,245	0,277	0,311	0,332	0,348	0,369	0,389	0,416
66	110,00	0,470	1,833	0,096	0,140	0,194	0,215	0,243	0,284	0,306	0,323	0,350	0,381	0,402	0,427
67	111,34	"	1,835	0,093	0,139	0,176	0,208	0,241	0,273	0,297	0,325	0,358	0,377	0,399	0,417
68	112,65	"	1,836	0,096	0,142	0,178	0,214	0,246	0,268	0,300	0,326	0,349	0,373	0,395	0,423
69	113,99	"	1,832	0,093	0,135	0,178	0,208	0,240	0,267	0,303	0,328	0,351	0,370	0,392	0,411
70	115,34	"	1,838	0,085	0,130	0,166	0,196	0,232	0,254	0,278	0,308	0,332	0,354	0,370	0,402
71	116,68	"	1,820	0,093	0,134	0,177	0,202	0,231	0,265	0,288	0,322	0,342	0,364	0,392	0,410
72	118,34	"	1,832	0,096	0,148	0,184	0,206	0,236	0,269	0,294	0,317	0,338	0,365	0,378	0,412
73	120,00	0,511	1,836	0,084	0,149	0,179	0,207	0,238	0,268	0,300	0,322	0,347	0,377	0,383	0,415
74	121,71	"	1,826	0,089	0,130	0,169	0,199	0,234	0,264	0,291	0,317	0,344	0,374	0,391	0,414
75	123,66	"	1,819	0,096	0,140	0,174	0,205	0,242	0,275	0,298	0,326	0,347	0,374	0,393	0,417
76	125,66	"	1,833	0,085	0,129	0,167	0,209	0,231	0,261	0,286	0,312	0,325	0,341	0,366	0,388
77	127,04	"	1,821	0,077	0,124	0,157	0,191	0,217	0,245	0,271	0,294	0,319	0,350	0,376	0,401
78	128,34	"	1,828	0,072	0,116	0,154	0,181	0,209	0,235	0,262	0,286	0,302	0,324	0,343	0,370
79	129,71	0,566	1,829	0,089	0,136	0,173	0,205	0,235	0,259	0,287	0,315	0,339	0,371	0,392	0,417
80	131,71	"	1,823	0,076	0,117	0,166	0,183	0,214	0,242	0,267	0,290	0,317	0,343	0,360	0,377
81	133,65	"	1,825	0,077	0,112	0,147	0,175	0,200	0,230	0,257	0,277	0,299	0,322	0,344	0,372
82	135,65	0,594	1,827	0,082	0,127	0,144	0,167	0,194	0,220	0,239	0,257	0,282	0,305	0,319	0,343

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 22 ET 66.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0830	0,1520	1,9980	0,0761	0,658	0,000862
2	0,203	0,1234	0,2261	2,0788	0,1087	0,898	0,000661
3	0,307	0,1615	0,2959	2,1550	0,1373	1,038	0,000625
4	0,411	0,1917	0,3512	2,2154	0,1585	1,170	0,000567
5	0,515	0,2226	0,4078	2,2772	0,1791	1,263	0,000550
6	0,618	0,2499	0,4578	2,3318	0,1963	1,350	0,000528
7	0,721	0,2782	0,5097	2,3884	0,2134	1,415	0,000523
8	0,824	0,3025	0,5542	2,4370	0,2274	1,487	0,000504
9	0,927	0,3240	0,5936	2,4800	0,2393	1,562	0,000481
10	1,030	0,3507	0,6425	2,5334	0,2536	1,603	0,000483
11	1,133	0,3737	0,6846	2,5794	0,2654	1,655	0,000475
12	1,236	0,3976	0,7284	2,6272	0,2772	1,697	0,000472

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,926	0,661	0,714	0,847	Les vitesses maxima ont été mesurées savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 59 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 22 et n° 53.
2	1,246	0,900	0,722	1,089	
3	1,443	1,051	0,728	1,360	
4	1,594	1,183	0,742	1,616	
5	1,752	1,265	0,722	1,748	
6	1,834	1,356	0,740	1,847	
7	1,964	1,421	0,723	1,971	
8	2,032	1,492	0,734	2,096	
9	2,124	1,569	0,739	2,192	
10	2,205	1,611	0,731	2,284	
11	2,256	1,660	0,736	2,323	
12	2,328	1,701	0,730	2,352	

SÉRIE N° 5. (Voir p. 75-76, pl. VI.)

CANAL RECTANGULAIRE REVÊTU DE GROS GRAVIER.

Pente longitudinale du fond : $0^m,0049$ par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de $1^m,861$ de largeur. — Nature de la paroi : gravier de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre maintenu par un enduit en ciment. — Direction et intensité du vent : vent assez fort venant de côté pour les expériences n°s 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10; temps calme pour les expériences 5, 6, 7; fort vent d'aval pour les expériences 11 et 12. — Température de l'eau : 16° pour les expériences 1 à 10; 13° pour les expériences 11 et 12. — Dates des expériences : 16, 17, 18, 19 et 25 septembre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},307$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},515$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde $0^{mc},927$.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde $1^{mc},133$.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde $1^{mc},236$.
7	11,98	0	1,861[1]	0,099	0,149	0,199	0,220	0,264	0,292	0,337	0,380	0,413	0,443	0,460	0,499
9	16,06	"	"	0,106	0,149	0,185	0,224	0,242	0,285	0,318	0,364	0,381	0,401	0,415	0,463
11	20,05	0,026	"	0,091	0,133	0,174	0,213	0,238	0,271	0,302	0,339	0,362	0,395	0,416	0,437
14	25,44	"	"	0,090	0,136	0,171	0,213	0,248	0,272	0,300	0,331	0,363	0,386	0,407	0,439
16	29,36	0,078	"	0,093	0,135	0,175	0,209	0,244	0,275	0,312	0,335	0,368	0,395	0,419	0,450
18	33,24	"	"	0,096	0,149	0,185	0,220	0,251	0,282	0,321	0,346	0,374	0,395	0,423	0,454
20	37,19	"	"	0,099	0,147	0,185	0,221	0,257	0,286	0,317	0,348	0,375	0,398	0,430	0,452
22	40,03	0,122	1,861	0,105	0,154	0,197	0,222	0,259	0,295	0,319	0,354	0,386	0,407	0,429	0,465
23	41,77	"	"	0,091	0,139	0,179	0,211	0,250	0,277	0,310	0,336	0,365	0,390	0,416	0,451
24	43,53	"	"	0,094	0,142	0,185	0,220	0,251	0,284	0,314	0,338	0,368	0,394	0,417	0,447
25	45,18	"	"	0,086	0,134	0,174	0,210	0,243	0,266	0,300	0,324	0,352	0,389	0,411	0,438
26	46,80	"	"	0,093	0,145	0,180	0,218	0,248	0,276	0,311	0,334	0,354	0,393	0,420	0,447
27	48,40	"	"	0,092	0,140	0,178	0,215	0,251	0,287	0,310	0,339	0,367	0,395	0,415	0,446
28	50,35	0,175	"	0,104	0,155	0,193	0,231	0,263	0,287	0,326	0,353	0,378	0,405	0,429	0,467
29	52,30	"	"	0,101	0,146	0,192	0,224	0,257	0,285	0,319	0,341	0,373	0,396	0,424	0,447
30	53,95	"	"	0,111	0,157	0,198	0,230	0,269	0,295	0,330	0,358	0,384	0,408	0,434	0,461
31	55,55	"	"	0,104	0,155	0,194	0,228	0,264	0,294	0,328	0,354	0,379	0,405	0,435	0,458
32	57,22	"	"	0,101	0,151	0,196	0,223	0,263	0,289	0,322	0,347	0,372	0,399	0,424	0,448
33	58,62	"	"	0,090	0,135	0,178	0,209	0,242	0,271	0,305	0,325	0,349	0,373	0,393	0,420
34	60,00	0,217	"	0,089	0,140	0,177	0,213	0,246	0,272	0,299	0,324	0,355	0,376	0,403	0,433
35	61,59	"	"	0,102	0,145	0,182	0,217	0,253	0,276	0,305	0,331	0,359	0,387	0,410	0,437
36	62,91	"	"	0,092	0,141	0,178	0,211	0,246	0,271	0,301	0,331	0,358	0,391	0,408	0,431
37	64,15	"	"	0,095	0,149	0,186	0,213	0,251	0,279	0,314	0,346	0,367	0,384	0,406	0,429
38	65,58	"	"	0,093	0,139	0,182	0,217	0,249	0,276	0,310	0,337	0,362	0,380	0,403	0,434
39	67,23	"	"	0,104	0,147	0,193	0,221	0,255	0,285	0,312	0,346	0,369	0,393	0,418	0,447
40	68,87	"	"	0,090	0,136	0,169	0,206	0,236	0,269	0,298	0,327	0,350	0,376	0,402	0,427

[1] Les largeurs avaient été inscrites sur une feuille volante qui a été égarée. La largeur moyenne $1^m,861$ a seule été conservée.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 7 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.c.,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m.c.,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.c.,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.c.,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.c.,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m.c.,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m.c.,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m.c.,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m.c.,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m.c.,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m.c.,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m.c.,236.
41	70,87	0,270	"	0,094	0,141	0,182	0,219	0,250	0,279	0,304	0,340	0,361	0,386	0,412	0,433
42	72,85	"	"	0,092	0,144	0,171	0,211	0,241	0,270	0,300	0,331	0,355	0,376	0,397	0,422
43	74,61	"	"	0,089	0,138	0,179	0,204	0,243	0,267	0,301	0,327	0,356	0,375	0,395	0,424
44	76,33	"	"	0,097	0,146	0,185	0,214	0,250	0,277	0,310	0,338	0,361	0,386	0,409	0,437
45	78,04	"	"	0,094	0,141	0,185	[illegible]	[illegible]	0,285	0,307	0,342	0,364	0,389	0,415	0,440
46	79,04	"	"	0,097	0,142	0,182	0,219	0,251	0,280	0,307	0,339	0,373	0,399	0,420	0,447
47	80,04	0,321	"	0,100	0,153	0,191	0,224	0,259	0,282	0,318	0,349	0,376	0,402	0,430	0,449
48	82,00	"	"	0,110	0,160	0,190	0,235	0,271	0,297	0,330	0,363	0,392	0,414	0,433	0,465
49	83,66	"	"	0,097	0,150	0,189	0,221	0,255	0,281	0,314	0,345	0,373	0,395	0,416	0,441
50	85,30	"	"	0,104	0,150	0,192	0,228	0,262	0,291	0,326	0,356	0,379	0,400	0,424	0,448
51	86,96	"	"	0,099	0,151	0,185	0,219	0,253	0,276	0,319	0,348	0,369	0,390	0,413	0,448
52	88,64	"	"	0,104	0,155	0,190	0,227	0,254	0,286	0,326	0,350	0,374	0,395	0,426	0,452
53	90,25	0,368	"	0,098	0,143	0,178	0,227	0,248	0,276	0,312	0,342	0,361	0,387	0,412	0,437
54	91,75	"	"	0,109	0,155	0,194	0,227	0,265	0,289	0,320	0,350	0,370	0,399	0,425	0,450
55	93,19	"	"	0,100	0,150	0,189	0,223	0,261	0,288	0,318	0,345	0,371	0,401	0,420	0,449
56	94,72	"	"	0,100	0,150	0,193	0,228	0,259	0,290	0,321	0,350	0,373	0,402	0,424	0,449
57	96,48	"	"	0,094	0,139	0,186	0,218	0,249	0,274	0,311	0,344	0,368	0,391	0,411	0,440
58	98,36	"	"	0,088	0,142	0,184	0,213	0,251	0,277	0,306	0,338	0,362	0,389	0,415	0,437
59	100,00	0,418	"	0,101	0,148	0,186	0,225	0,260	0,289	0,320	0,350	0,366	0,399	0,423	0,447
60	101,59	"	"	0,098	0,147	0,183	0,223	0,251	0,278	0,319	0,348	0,368	0,393	0,414	0,446
61	103,15	"	"	0,095	0,143	0,185	0,224	0,252	0,282	0,316	0,347	0,368	0,394	0,416	0,448
62	104,74	"	"	0,105	0,155	0,197	0,232	0,266	0,295	0,330	0,356	0,382	0,406	0,432	0,456
63	106,04	"	"	0,111	0,163	0,203	0,239	0,272	0,302	0,337	0,357	0,385	0,416	0,436	0,461
64	107,34	"	"	0,099	0,149	0,192	0,233	0,263	0,295	0,323	0,347	0,378	0,408	0,425	0,448
65	108,70	"	"	0,113	0,160	0,206	0,237	0,273	0,306	0,334	0,363	0,393	0,421	0,438	0,467
66	110,00	0,470	1,861	0,095	0,150	0,191	0,228	0,260	0,291	0,318	0,352	0,379	0,402	0,425	0,445
67	111,34	"	"	0,098	0,150	0,191	0,227	0,260	0,288	0,315	0,351	0,371	0,399	0,418	0,446
68	112,65	"	"	0,107	0,158	0,195	0,221	0,263	0,291	0,318	0,356	0,378	0,407	0,428	0,451
69	113,99	"	"	0,103	0,152	0,193	0,228	0,262	0,285	0,316	0,349	0,377	0,401	0,418	0,439
70	115,34	"	"	0,096	0,141	0,181	0,216	0,253	0,278	0,309	0,334	0,361	0,388	0,409	0,432
71	116,68	"	"	0,097	0,150	0,183	0,218	0,252	0,279	0,306	0,332	0,359	0,388	0,411	0,433
72	118,34	"	"	0,079	0,134	0,166	0,207	0,228	0,258	0,284	0,314	0,337	0,363	0,383	0,402
73	120,00	0,511	"	0,084	0,166	0,170	0,209	0,234	0,263	0,291	0,319	0,344	0,374	0,393	0,416
74	121,71	"	"	0,106	0,157	0,190	0,230	0,260	0,293	0,322	0,341	0,372	0,400	0,421	0,445
75	123,66	"	"	0,097	0,157	0,192	0,224	0,258	0,288	0,320	0,351	0,371	0,396	0,414	0,439
76	125,66	"	"	0,098	0,133	0,178	0,218	0,255	0,277	0,308	0,341	0,358	0,379	0,392	0,421
77	127,04	"	"	0,102	0,143	0,179	0,218	0,250	0,275	0,305	0,330	0,345	0,376	0,391	0,415
78	128,34	"	"	0,090	0,136	0,177	0,209	0,239	0,262	0,294	0,317	0,346	0,368	0,381	0,407
79	129,71	0,566	"	0,112	0,136	0,197	0,224	0,254	0,285	0,309	0,346	0,367	0,390	0,406	0,433
80	131,71	"	"	0,093	0,136	0,176	0,205	0,236	0,269	0,294	0,321	0,343	0,363	0,382	0,396
81	133,65	"	"	0,092	0,134	0,172	0,200	0,226	0,256	0,284	0,300	0,322	0,341	0,360	0,386
82	135,65	0,594	1,861	0,095	0,133	0,166	0,186	0,211	0,267	0,257	0,277	0,296	0,318	0,336	0,355

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 22 ET 66.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0982	0,1827	2,0574	0,0888	0,547	0,001454
2	0,203	0,1471	0,2737	2,1552	0,1270	0,741	0,001132
3	0,307	0,1866	0,3473	2,2342	0,1554	0,884	0,000974
4	0,411	0,2213	0,4118	2,3036	0,1788	0,998	0,000880
5	0,515	0,2547	0,4740	2,3704	0,2000	1,086	0,000830
6	0,618	0,2850	0,5267	2,4270	0,2170	1,173	0,000772
7	0,721	0,3151	0,5864	2,4912	0,2354	1,229	0,000763
8	0,824	0,3436	0,6394	2,5482	0,2509	1,289	0,000740
9	0,927	0,3690	0,6867	2,5990	0,2642	1,350	0,000710
10	1,030	0,3946	0,7343	2,6502	0,2771	1,403	0,000690
11	1,133	0,4176	0,7771	2,6962	0,2882	1,458	0,000664
12	1,236	0,4448	0,8278	2,7506	0,3009	1,493	0,000661

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,799	0,553	0,692	0,768	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 59 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 22 et n° 53.
2	1,078	0,748	0,694	1,029	
3	1,251	0,893	0,714	1,166	
4	1,364	1,008	0,739	1,298	
5	1,501	1,095	0,730	1,407	
6	1,617	1,183	0,732	1,546	
7	1,731	1,239	0,716	1,709	
8	1,887	1,298	0,688	1,878	
9	1,912	1,358	0,710	1,904	
10	1,951	1,413	0,724	1,976	
11	2,006	1,466	0,731	2,006	
12	2,037	1,500	0,736	2,039	

SÉRIE N° 6. (Voir p. 77, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,00208 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences n°s 1, 8 et 9; temps calme pour les autres. — Température de l'eau : 7°. — Dates des expériences : 17, 18, 19 et 20 décembre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (1er profil n° 128 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
128	210,31	0	1,990[1]	0,078	0,123	0,161	0,189	0,223	0,232	0,264	0,282	0,301	0,330	0,351	0,360
129	211,87	"	"	0,090	0,132	0,170	0,197	0,227	0,216	0,275	0,296	0,327	0,352	0,347	0,378
130	213,51	"	"	0,074	0,116	0,152	0,178	0,216	0,233	0,259	0,271	0,284	0,297	0,357	0,359
131	215,17	"	"	0,071	0,111	0,145	0,172	0,200	0,226	0,268	0,285	0,305	0,338	0,341	0,380
132	216,77	"	"	0,080	0,127	0,163	0,203	0,230	0,249	0,271	0,301	0,329	0,345	0,370	0,388
133	218,37	"	"	0,081	0,126	0,163	0,194	0,225	0,245	0,272	0,297	0,309	0,333	0,367	0,380
134	220,00	0,005	"	0,074	0,122	0,156	0,184	0,221	0,238	0,267	0,288	0,307	0,347	0,358	0,387
135	221,46	"	1,990	0,083	0,133	0,168	0,202	0,234	0,252	0,286	0,310	0,337	0,357	0,389	0,398
136	222,72	"	"	0,082	0,130	0,167	0,199	0,227	0,254	0,276	0,306	0,323	0,346	0,375	0,392
137	223,99	"	"	0,085	0,130	0,163	0,195	0,231	0,255	0,279	0,302	0,319	0,358	0,371	0,387
138	225,49	"	"	0,080	0,124	0,155	0,188	0,219	0,245	0,258	0,280	0,318	0,341	0,355	0,372
139	227,01	"	"	0,088	0,135	0,173	0,202	0,248	0,262	0,287	0,304	0,331	0,353	0,383	0,410
140	228,39	"	"	0,087	0,133	0,170	0,197	0,244	0,258	0,274	0,307	0,328	0,355	0,375	0,380
141	229,77	0,027	"	0,063	0,103	0,138	0,162	0,194	0,217	0,250	0,268	0,293	0,312	0,338	0,371
142	231,17	"	"	0,075	0,111	0,141	0,173	0,216	0,220	0,247	0,276	0,297	0,329	0,343	0,361

[1] La largeur était extrêmement régulière : on a adopté partout la valeur moyenne 1m,990.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 128 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION À chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.
143	232,67	"	"	0,077	0,119	0,157	0,183	0,214	0,236	0,260	0,288	0,317	0,338	0,355	0,381
144	234,15	"	"	0,077	0,122	0,162	0,197	0,221	0,245	0,274	0,299	0,324	0,347	0,367	0,380
145	235,57	"	"	0,079	0,120	0,165	0,193	0,223	0,243	0,267	0,295	0,310	0,337	0,349	0,381
146	236,99	"	"	0,063	0,101	0,137	0,160	0,188	0,217	0,245	0,269	0,295	0,322	0,339	0,369
147	238,39	"	"	0,059	0,094	0,122	0,154	0,183	0,214	0,243	0,269	0,296	0,325	0,337	0,372
148	239,63	0,050	"	0,066	0,103	0,151	0,186	0,224	0,248	0,270	0,298	0,324	0,343	0,367	0,394
149	240,99	"	"	0,078	0,124	0,163	0,195	0,229	0,255	0,280	0,309	0,327	0,358	0,373	0,400
150	242,33	"	"	0,075	0,121	0,159	0,197	0,212	0,237	0,261	0,281	0,302	0,328	0,359	0,391
151	243,65	"	"	0,077	0,120	0,160	0,195	0,211	0,233	0,263	0,302	0,329	0,353	0,384	0,406
152	244,95	"	"	0,084	0,129	0,160	0,199	0,224	0,240	0,285	0,319	0,342	0,354	0,377	0,396
153	246,55	"	"	0,080	0,126	0,162	0,190	0,228	0,245	0,280	0,311	0,324	0,347	0,373	0,403
154	248,05	"	"	0,083	0,131	0,169	0,196	0,237	0,251	0,286	0,306	0,326	0,351	0,386	0,412
155	249,65	0,074	"	0,081	0,125	0,159	0,196	0,230	0,253	0,285	0,302	0,317	0,363	0,375	0,399
156	250,99	"	"	0,079	0,133	0,171	0,202	0,233	0,251	0,282	0,309	0,335	0,372	0,379	0,412
157	252,25	"	"	0,083	0,130	0,165	0,196	0,232	0,258	0,284	0,312	0,337	0,364	0,362	0,407
158	253,61	"	"	0,072	0,118	0,157	0,185	0,214	0,239	0,266	0,309	0,316	0,354	0,367	0,385
159	255,31	"	"	0,074	0,128	0,158	0,195	0,222	0,243	0,271	0,305	0,329	0,360	0,374	0,399
160	257,01	"	"	0,076	0,121	0,156	0,187	0,224	0,251	0,266	0,306	0,319	0,350	0,368	0,391
161	258,57	"	"	0,085	0,130	0,166	0,199	0,234	0,259	0,277	0,308	0,336	0,355	0,373	0,399
162	260,09	0,094	"	0,091	0,138	0,174	0,204	0,240	0,265	0,275	0,308	0,336	0,356	0,375	0,399
163	261,83	"	"	0,085	0,134	0,168	0,199	0,238	0,263	0,285	0,315	0,338	0,352	0,376	0,402
164	263,43	"	"	0,085	0,127	0,168	0,198	0,233	0,254	0,288	0,309	0,331	0,356	0,372	0,401
165	265,17	"	"	0,080	0,129	0,163	0,192	0,224	0,238	0,281	0,298	0,321	0,335	0,360	0,371
166	267,07	"	"	0,089	0,134	0,168	0,199	0,234	0,267	0,298	0,312	0,331	0,351	0,365	0,397
167	269,15	"	"	0,089	0,136	0,168	0,202	0,239	0,254	0,288	0,328	0,340	0,355	0,362	0,386
168	270,70	0,114	1,990	0,081	0,141	0,171	0,209	0,232	0,263	0,288	0,328	0,347	0,355	0,372	0,404
169	272,20	"	"	0,084	0,131	0,169	0,197	0,219	0,248	0,266	0,282	0,292	0,326	0,364	0,385
174	279,90	0,130	1,990	0,085	0,125	0,169	0,192	0,241	0,269	0,284	0,298	0,312	0,329	0,531	0,370

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE
POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 135 ET 168.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0791	0,1574	2,1482	0,0735	0,635	0,000378
2	0,203	0,1245	0,2478	2,2390	0,1106	0,819	0,000343
3	0,307	0,1604	0,3192	2,3108	0,1381	0,962	0,000311
4	0,411	0,1919	0,3819	2,3738	0,1609	1,076	0,000289
5	0,515	0,2246	0,4469	2,4392	0,1832	1,152	0,000287
6	0,618	0,2466	0,4907	2,4832	0,1976	1,259	0,000259
7	0,721	0,2737	0,5447	2,5374	0,2146	1,324	0,000255
8	0,824	0,3014	0,5998	2,5928	0,2313	1,374	0,000255
9	0,927	0,3234	0,6436	2,6368	0,2441	1,440	0,000245
10	1,030	0,3480	0,6925	2,6860	0,2578	1,487	0,000242
11	1,133	0,3669	0,7301	2,7238	0,2681	1,552	0,000231
12	1,236	0,3914	0,7789	2,7728	0,2809	1,587	0,000232

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,806	0,637	0,790	0,767	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 146 ; à l'aide des flotteurs entre les profils n° 134 et n° 167.
2	1,099	0,823	0,749	1,010	
3	1,270	0,964	0,759	1,253	
4	1,404	1,080	0,769	1,321	
5	1,520	1,154	0,759	1,475	
6	1,586	1,263	0,796	1,590	
7	1,655	1,327	0,802	1,675	
8	1,689	1,379	0,816	1,738	
9	1,770	1,446	0,817	1,761	
10	1,864	1,488	0,798	1,842	
11	1,930	1,553	0,805	1,879	
12	1,990	1,589	0,798	1,966	

SÉRIE N° 7. (Voir p. 77, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : temps calme pour les expériences nos 1, 10 et 11 ; vent de côté pour les neuf autres ; assez violent pour les expériences nos 6, 7, 8 et 12. — Température de l'eau : 8°,5. — Dates des expériences : 10, 11, 12, 13, 15 et 16 décembre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 79 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil[1].	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.
79	129,71	0	1,990	0,068	0,088	0,114	0,141	0,163	0,187	0,208	0,220	0,242	0,259	0,273	0,281
80	131,71	»	»	0,074	0,106	0,133	0,155	0,173	0,194	0,229	0,240	0,261	0,275	0,285	0,302
81	133,65	»	»	0,052	0,090	0,120	0,147	0,167	0,195	0,209	0,225	0,252	0,272	0,298	0,308
82	135,65	»	»	0,072	0,091	0,123	0,147	0,169	0,188	0,217	0,239	0,249	0,268	0,286	0,309
83	137,65	»	1,990	0,050	0,088	0,121	0,139	0,164	0,186	0,202	0,222	0,247	0,259	0,277	0,289
84	138,89	»	»	0,056	0,089	0,114	0,138	0,157	0,178	0,201	0,224	0,242	0,256	0,280	0,296
85	140,03	0,049	»	0,044	0,083	0,110	0,132	0,156	0,176	0,206	0,216	0,234	0,250	0,270	0,276
86	141,70	»	»	0,080	0,085	0,119	0,142	0,168	0,182	0,201	0,223	0,236	0,252	0,290	0,285
87	143,86	»	»	0,081	0,119	0,126	0,150	0,170	0,191	0,211	0,226	0,246	0,258	0,280	0,293
88	145,04	»	»	0,059	0,085	0,118	0,148	0,164	0,187	0,202	0,234	0,247	0,262	0,282	0,287
89	146,69	»	»	0,053	0,083	0,121	0,136	0,162	0,189	0,205	0,225	0,244	0,253	0,275	0,281
90	148,37	»	»	0,058	0,085	0,119	0,149	0,164	0,181	0,209	0,222	0,236	0,257	0,272	0,283

[1] La largeur était extrêmement régulière : on a adopté partout la valeur moyenne 1m,990.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (1er profil n° 79 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m.,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m.,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m.,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m.,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m.,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m.,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m.,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m.,236.
91	150,00	0,092	»	0,048	0,081	0,113	0,135	0,156	0,179	0,198	0,214	0,236	0,249	0,266	0,276
92	151,56	»	»	0,053	0,082	0,113	0,133	0,158	0,183	0,197	0,218	0,236	0,242	0,262	0,280
93	153,25	»	»	0,060	0,088	0,119	0,136	0,166	0,183	0,208	0,222	0,244	0,251	0,268	0,282
94	154,90	»	»	0,057	0,085	0,121	0,141	0,163	0,181	0,200	0,222	0,240	0,248	0,267	0,275
95	156,50	»	»	0,063	0,088	0,117	0,132	0,161	0,185	0,197	0,221	0,239	0,250	0,260	0,281
96	158,14	»	»	0,055	0,078	0,115	0,143	0,163	0,181	0,200	0,214	0,241	0,251	0,268	0,283
97	160,00	0,141	»	0,094	0,114	0,117	0,138	0,156	0,175	0,198	0,217	0,237	0,256	0,267	0,287
98	162,10	»	»	0,059	0,092	0,120	0,144	0,157	0,187	0,206	0,222	0,247	0,268	0,277	0,296
99	164,10	»	»	0,053	0,085	0,111	0,141	0,154	0,180	0,198	0,211	0,219	0,252	0,269	0,288
100	166,10	»	»	0,058	0,090	0,114	0,136	0,158	0,181	0,202	0,221	0,238	0,251	0,274	0,292
101	168,02	»	»	0,056	0,090	0,114	0,140	0,156	0,183	0,203	0,223	0,238	0,255	0,279	0,291
102	170,09	0,187	»	0,074	0,098	0,128	0,148	0,168	0,187	0,205	0,228	0,241	0,262	0,286	0,299
103	171,79	»	»	0,053	0,085	0,105	0,140	0,161	0,178	0,201	0,214	0,237	0,260	0,277	0,289
104	173,44	»	»	0,055	0,089	0,114	0,138	0,156	0,177	0,195	0,215	0,233	0,254	0,276	0,287
105	175,16	»	»	0,052	0,085	0,107	0,133	0,153	0,174	0,192	0,212	0,231	0,251	0,276	0,284
106	176,72	»	»	0,053	0,083	0,107	0,129	0,155	0,179	0,197	0,211	0,236	0,246	0,262	0,277
107	178,22	»	»	0,057	0,084	0,109	0,139	0,152	0,181	0,195	0,209	0,231	0,242	0,262	0,279
108	180,00	0,242	»	0,079	0,093	0,113	0,140	0,159	0,187	0,199	0,213	0,233	0,243	0,266	0,281
109	181,92	»	»	0,056	0,094	0,115	0,140	0,158	0,176	0,199	0,219	0,236	0,253	0,267	0,283
110	183,82	»	»	0,054	0,089	0,109	0,134	0,155	0,174	0,193	0,216	0,231	0,251	0,264	0,281
111	185,52	»	»	0,051	0,082	0,111	0,133	0,155	0,177	0,190	0,213	0,227	0,245	0,263	0,273
112	186,92	»	»	0,058	0,090	0,114	0,139	0,160	0,177	0,192	0,209	0,227	0,246	0,256	0,287
113	188,22	»	»	0,055	0,085	0,109	0,129	0,155	0,173	0,193	0,207	0,222	0,248	0,264	0,282
114	189,67	0,291	»	0,087	0,097	0,116	0,141	0,162	0,177	0,198	0,212	0,225	0,257	0,273	0,289
115	191,13	»	»	0,078	0,097	0,124	0,140	0,161	0,177	0,198	0,212	0,231	0,258	0,272	0,264
116	192,61	»	»	0,081	0,125	0,125	0,155	0,174	0,184	0,210	0,221	0,246	0,264	0,277	0,289
117	194,26	»	»	0,059	0,095	0,124	0,144	0,166	0,197	0,206	0,222	0,241	0,264	0,270	0,291
118	195,97	»	»	0,065	0,097	0,121	0,148	0,175	0,189	0,211	0,225	0,247	0,259	0,271	0,287
119	197,23	»	»	0,055	0,090	0,123	0,145	0,164	0,183	0,201	0,221	0,239	0,250	0,264	0,286
120	198,53	0,335	»	0,053	0,088	0,116	0,136	0,157	0,181	0,197	0,213	0,227	0,243	0,267	0,284
121	200,00	»	1,990	0,084	0,099	0,121	0,145	0,168	0,189	0,196	0,221	0,238	0,252	0,275	0,290

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE
POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 83 ET 120.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0608	0,1210	2,1116	0,0573	0,826	0,000411
2	0,203	0,0905	0,1801	2,1710	0,0830	1,127	0,000320
3	0,307	0,1164	0,2316	2,3228	0,1042	1,325	0,000291
4	0,411	0,1396	0,2778	2,2692	0,1224	1,479	0,000274
5	0,515	0,1605	0,3194	2,3110	0,1382	1,612	0,000260
6	0,618	0,1815	0,3612	2,3530	0,1535	1,711	0,000257
7	0,721	0,2004	0,3988	2,3908	0,1668	1,808	0,000250
8	0,824	0,2181	0,4340	2,4262	0,1789	1,898	0,000243
9	0,927	0,2368	0,4712	2,4636	0,1913	1,967	0,000242
10	1,030	0,2531	0,5037	2,4962	0,2018	2,045	0,000236
11	1,133	0,2709	0,5391	2,5318	0,2129	2,102	0,000236
12	1,236	0,2851	0,5672	2,5602	0,2215	2,179	0,000229

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,119	0,818	0,731	1,020	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 111 ; à l'aide des flotteurs entre les profils n°s 84 et 119, pour les deux premières ; et entre les profils n°s 84 et 120, pour les dix autres.
2	1,498	1,126	0,752	1,440	
3	1,765	1,328	0,752	1,669	
4	1,943	1,478	0,761	1,884	
5	2,088	1,613	0,772	2,073	
6	2,216	1,713	0,773	2,201	
7	2,314	1,808	0,781	2,369	
8	2,394	1,899	0,793	2,466	
9	2,491	1,970	0,791	2,559	
10	2,588	2,046	0,790	2,650	
11	2,700	2,102	0,778	2,708	
12	2,800	2,179	0,778	2,791	

SÉRIE N° 8. (Voir p. 77, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,00824 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : temps calme pour les expériences nos 1, 10 et 11 ; vent de côté assez violent pour les expériences nos 5, 6, 7, 8, 9 et 12 ; vent d'aval pour les expériences nos 2, 3 et 4. — Température de l'eau : 8°,5. — Dates des expériences : 10, 11, 12, 13, 15 et 16 décembre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 291 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
291	450,00	0	1,990	0,072	0,116	0,142	0,175	0,198	0,189	0,213	0,327	0,343	0,363	0,377	0,396
298	459,63	0,091	"	0,042	0,070	0,096	0,116	0,137	0,157	0,177	0,285	0,209	0,227	0,250	0,265
299	460,93	"	"	0,046	0,073	0,097	0,120	0,133	0,160	0,179	0,190	0,213	0,230	0,251	0,268
300	462,27	"	"	0,047	0,071	0,101	0,118	0,138	0,157	0,176	0,197	0,212	0,235	0,253	0,271
301	463,67	"	"	0,046	0,069	0,099	0,116	0,136	0,160	0,173	0,192	0,216	0,235	0,252	0,267
302	465,15	"	"	0,047	0,074	0,101	0,119	0,140	0,160	0,175	0,192	0,219	0,232	0,246	0,257
303	466,65	"	"	0,049	0,075	0,100	0,117	0,145	0,157	0,176	0,194	0,218	0,232	0,250	0,258
304	468,09	"	"	0,055	0,073	0,099	0,122	0,143	0,157	0,171	0,194	0,213	0,231	0,244	0,264
305	469,79	0,171	"	0,044	0,073	0,101	0,116	0,141	0,162	0,173	0,193	0,206	0,222	0,239	0,255
306	471,39	"	"	0,044	0,074	0,096	0,121	0,137	0,150	0,171	0,190	0,211	0,225	0,242	0,261
307	472,99	"	"	0,047	0,071	0,099	0,116	0,141	0,167	0,167	0,184	0,208	0,222	0,245	0,257
308	474,69	"	"	0,057	0,077	0,083	0,124	0,141	0,156	0,174	0,188	0,204	0,220	0,242	0,253
309	476,29	"	"	0,077	0,079	0,114	0,142	0,156	0,169	0,190	0,199	0,215	0,232	0,248	0,263
310	477,99	"	"	0,045	0,079	0,105	0,128	0,146	0,160	0,174	0,194	0,204	0,227	0,248	0,262
311	479,55	0,263	"	0,044	0,072	0,096	0,119	0,133	0,155	0,171	0,187	0,198	0,224	0,243	0,251
312	480,95	"	"	0,043	0,074	0,100	0,123	0,135	0,152	0,172	0,184	0,202	0,221	0,238	0,255
313	482,75	"	"	0,044	0,077	0,099	0,123	0,140	0,151	0,167	0,181	0,201	0,219	0,235	0,252
314	484,54	"	"	0,044	0,074	0,101	0,121	0,142	0,151	0,170	0,181	0,201	0,217	0,236	0,253
315	486,21	"	"	0,073	0,080	0,096	0,126	0,144	0,154	0,170	0,183	0,203	0,214	0,231	0,249
316	488,01	"	"	0,051	0,080	0,104	0,124	0,148	0,157	0,175	0,183	0,202	0,215	0,232	0,247
317	489,81	0,338	"	0,049	0,075	0,100	0,122	0,145	0,157	0,173	0,184	0,208	0,207	0,229	0,250
318	491,17	"	"	0,045	0,079	0,094	0,125	0,145	0,155	0,178	0,185	0,204	0,219	0,242	0,259
319	492,53	"	"	0,051	0,074	0,100	0,118	0,140	0,150	0,170	0,185	0,200	0,217	0,240	0,248

[1] La largeur était extrêmement régulière : on a adopté partout la valeur moyenne 1m,990.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 291 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.c.,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m.c.,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.c.,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.c.,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.c.,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m.c.,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m.c.,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m.c.,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m.c.,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1,m.c.030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m.c.,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m.c.,236.
320	493,77	"	"	0,051	0,075	0,097	0,117	0,136	0,146	0,167	0,184	0,199	0,223	0,236	0,247
321	495,11	"	"	0,045	0,074	0,101	0,118	0,135	0,146	0,161	0,186	0,199	0,215	0,231	0,250
322	496,55	"	"	0,048	0,071	0,096	0,117	0,136	0,143	0,166	0,188	0,201	0,204	0,228	0,247
323	497,75	"	"	0,044	0,071	0,099	0,115	0,135	0,152	0,176	0,183	0,193	0,211	0,234	0,240
324	499,05	"	"	0,053	0,075	0,096	0,119	0,139	0,158	0,174	0,182	0,201	0,226	0,230	0,245
325	500,45	0,413	"	0,048	0,031	0,094	0,117	0,135	0,155	0,166	0,182	0,204	0,218	0,228	0,249
326	501,65	"	"	0,045	0,074	0,093	0,115	0,140	0,159	0,166	0,185	0,206	0,211	0,233	0,247
327	502,95	"	"	0,046	0,072	0,100	0,113	0,140	0,163	0,167	0,187	0,202	0,214	0,236	0,244
328	504,29	"	"	0,048	0,081	0,097	0,114	0,142	0,160	0,167	0,190	0,205	0,217	0,232	0,243
329	505,69	"	"	0,047	0,078	0,094	0,120	0,142	0,156	0,163	0,187	0,194	0,216	0,230	0,246
330	506,95	"	"	0,046	0,071	0,092	0,115	0,143	0,154	0,174	0,179	0,195	0,212	0,229	0,245
331	508,45	"	1,990	0,050	0,083	0,098	0,121	0,143	0,155	0,173	0,185	0,202	0,218	0,237	0,243
332	509,85	0,496	"	0,044	0,075	0,099	0,120	0,137	0,150	0,167	0,183	0,201	0,213	0,235	0,238
333	511,35	"	"	0,045	0,074	0,091	0,117	0,130	0,147	0,160	0,178	0,199	0,208	0,226	0,236
334	513,15	"	"	0,050	0,081	0,104	0,119	0,139	0,144	0,164	0,179	0,201	0,212	0,232	0,238
335	514,75	"	"	0,050	0,077	0,099	0,121	0,140	0,144	0,160	0,177	0,203	0,216	0,226	0,235
336	516,05	"	"	0,049	0,073	0,095	0,122	0,139	0,153	0,165	0,185	0,201	0,213	0,223	0,242
337	517,45	"	"	0,041	0,079	0,097	0,114	0,140	0,149	0,167	0,185	0,192	0,207	0,221	0,232
338	518,69	"	"	0,043	0,072	0,097	0,118	0,136	0,152	0,169	0,181	0,193	0,209	0,228	0,241
339	520,19	0,585	"	0,044	0,077	0,095	0,108	0,133	0,143	0,171	0,183	0,190	0,214	0,226	0,239
340	522,05	"	"	0,049	0,070	0,097	0,117	0,138	0,146	0,166	0,191	0,198	0,210	0,228	0,238
341	523,61	"	"	0,043	0,078	0,101	0,121	0,133	0,144	0,167	0,189	0,194	0,210	0,226	0,240
342	524,93	"	"	0,053	0,074	0,100	0,122	0,137	0,150	0,170	0,187	0,198	0,218	0,224	0,234
343	526,29	"	"	0,042	0,079	0,097	0,120	0,135	0,146	0,164	0,179	0,198	0,211	0,225	0,232
344	527,53	"	"	0,050	0,071	0,097	0,122	0,136	0,153	0,176	0,179	0,202	0,215	0,228	0,240
345	528,63	"	"	0,042	0,067	0,090	0,121	0,132	0,160	0,161	0,181	0,198	0,209	0,220	0,234
346	529,83	0,666	"	0,063	0,084	0,100	0,125	0,137	0,155	0,169	0,189	0,201	0,214	0,230	0,243
347	531,49	"	"	0,046	0,079	0,100	0,122	0,142	0,155	0,166	0,186	0,198	0,214	0,227	0,241
348	533,15	"	"	0,047	0,076	0,100	0,122	0,139	0,151	0,165	0,185	0,200	0,215	0,227	0,235
349	534,81	"	"	0,041	0,077	0,096	0,118	0,131	0,143	0,158	0,177	0,194	0,211	0,220	0,235
350	536,21	"	"	0,047	0,076	0,098	0,114	0,138	0,159	0,166	0,186	0,200	0,217	0,234	0,249
351	537,57	"	"	0,043	0,076	0,099	0,111	0,130	0,147	0,164	0,187	0,201	0,215	0,226	0,234
352	538,83	"	"	0,042	0,072	0,088	0,110	0,132	0,152	0,174	0,181	0,197	0,207	0,220	0,237
353	540,17	0,755	"	0,043	0,070	0,087	0,114	0,133	0,145	0,164	0,177	0,190	0,209	0,226	0,239
354	541,51	"	"	0,042	0,078	0,093	0,109	0,135	0,157	0,168	0,175	0,197	0,210	0,225	0,237
355	542,81	"	"	0,045	0,066	0,096	0,110	0,140	0,161	0,166	0,177	0,202	0,212	0,227	0,238
356	544,15	"	"	0,046	0,074	0,095	0,107	0,138	0,149	0,163	0,180	0,203	0,209	0,223	0,237
357	545,49	"	"	0,039	0,074	0,095	0,108	0,136	0,146	0,160	0,187	0,198	0,211	0,225	0,240
358	546,79	"	"	0,047	0,073	0,092	0,107	0,134	0,148	0,149	0,184	0,191	0,210	0,232	0,238
359	548,25	"	"	0,044	0,079	0,098	0,111	0,130	0,155	0,163	0,187	0,190	0,214	0,231	0,234
360	549,79	0,834	"	0,050	0,082	0,106	0,122	0,136	0,159	0,167	0,186	0,204	0,217	0,231	0,242

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 291 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},307$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},515$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde $0^{mc},927$.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde $1^{mc},133$.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde $1^{mc},236$.
361	551,43	"	"	0,060	0,069	0,096	0,111	0,130	0,148	0,159	0,178	0,195	0,208	0,224	0,237
362	553,43	"	"	0,060	0,078	0,096	0,120	0,140	0,155	0,166	0,182	0,195	0,217	0,229	0,237
363	555,29	"	"	0,045	0,082	0,098	0,115	0,129	0,155	0,172	0,183	0,194	0,207	0,221	0,232
364	557,13	"	"	0,061	0,083	0,105	0,120	0,146	0,162	0,178	0,185	0,200	0,211	0,226	0,237
365	558,93	"	"	0,046	0,077	0,093	0,113	0,135	0,150	0,168	0,185	0,199	0,207	0,220	0,231
366	560,69	0,911	"	0,044	0,076	0,094	0,115	0,138	0,155	0,164	0,182	0,196	0,203	0,221	0,242
367	562,53	"	"	0,038	0,073	0,095	0,114	0,137	0,154	0,165	0,177	0,191	0,203	0,218	0,239
368	564,29	"	1,990	0,050	0,075	0,101	0,117	0,137	0,153	0,163	0,180	0,200	0,208	0,223	0,242
369	566,13	"	"	0,041	0,065	0,088	0,107	0,127	0,143	0,161	0,165	0,187	0,203	0,214	0,233
370	567,89	"	"	0,049	0,075	0,103	0,119	0,137	0,146	0,163	0,179	0,202	0,213	0,227	0,244
371	569,73	0,990	"	0,052	0,073	0,102	0,116	0,141	0,153	0,167	0,177	0,197	0,210	0,218	0,242
372	571,17	"	"	0,044	0,078	0,094	0,107	0,132	0,146	0,155	0,177	0,198	0,211	0,227	0,248
373	572,47	"	"	0,047	0,075	0,096	0,109	0,137	0,146	0,166	0,187	0,202	0,217	0,236	0,241
374	573,77	"	"	0,040	0,066	0,089	0,108	0,137	0,151	0,168	0,184	0,200	0,208	0,219	0,228
375	575,57	"	"	0,047	0,067	0,094	0,106	0,129	0,150	0,162	0,178	0,193	0,202	0,218	0,227
376	577,17	"	"	0,047	0,076	0,100	0,114	0,130	0,135	0,151	0,180	0,197	0,210	0,218	0,237
377	578,87	1,074	1,990	0,048	0,067	0,096	0,111	0,136	0,144	0,159	0,174	0,192	0,205	0,215	0,240

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 331 ET 368.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0468	0,0931	2,0836	0,0447	1,074	0,000319
2	0,203	0,0757	0,1506	2,1414	0,0703	1,348	0,000319
3	0,307	0,0968	0,1926	2,1836	0,0882	1,594	0,000286
4	0,411	0,1163	0,2314	2,2226	0,1041	1,776	0,000272
5	0,515	0,1361	0,2708	2,2622	0,1197	1,901	0,000273
6	0,618	0,1513	0,3011	2,2926	0,1313	2,053	0,000257
7	0,721	0,1657	0,3297	2,3214	0,1420	2,186	0,000245
8	0,824	0,1826	0,3634	2,3552	0,1543	2,268	0,000247
9	0,927	0,1976	0,3932	2,3852	0,1649	2,357	0,000244
10	1,030	0,2115	0,4209	2,4130	0,1744	2,447	0,000240
11	1,133	0,2261	0,4499	2,4422	0,1842	2,518	0,000239
12	1,236	0,2378	0,4732	2,4656	0,1919	2,612	0,000232

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,235	1,049	0,849	1,229	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 346; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 298 et n° 366.
2	1,622	1,341	0,827	1,508	
3	1,874	1,584	0,845	1,794	
4	2,139	1,750	0,818	2,035	
5	2,326	1,874	0,806	2,301	
6	2,545	2,024	0,795	2,438	
7	2,643	2,150	0,813	2,582	
8	2,741	2,223	0,811	2,724	
9	2,847	2,317	0,814	2,857	
10	3,012	2,396	0,795	2,941	
11	3,075	2,453	0,798	3,017	
12	3,129	2,536	0,810	3,179	

OBSERVATION

COMMUNE AUX SÉRIES N°s 2, 3, 4, 5, 6, 7 et 8.

Les cotes de nivellement qui figurent dans les tableaux des sept séries précédentes sont extraites du nivellement général de la rigole d'expérience. Ce nivellement a été exécuté en 1856 avec beaucoup de précision, mais de dix en dix mètres seulement, les pentes étant assez régulières. Les revêtements en ciment, en briques, etc. sur lesquels ont eu lieu les expériences des séries n°s 2, 3, 4 et 5, ont été établis successivement dans une même section de la rigole (entre les profils n°s 7 et 82). L'épaisseur de ces revêtements étant sensiblement uniforme, on a admis pour le nivellement de leur surface celui du fond de la rigole en planches sur lequel ils étaient appliqués. D'ailleurs ils étaient légèrement ondulés, ce qui ne permettait pas un nivellement aussi précis qu'on a pu le faire pour les canaux en planches qui font l'objet des séries suivantes.

SÉRIE N° 9. (Voir p. 85-86, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,983 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences nos 5, 6, et 7; fort vent d'aval pour les expériences nos 1, 2, 3 et 4. — Température de l'eau : 14°,5. — Dates des expériences : 22, 23, 27, 28, 29, 30 avril et 1er mai 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
134	220,00	0	1,978	0,095	0,146	0,232	0,310	0,391	0,401	0,473
135	221,46	»	1,978	0,093	0,138	0,226	0,275	0,339	0,379	0,440
136	222,72	0,002	1,987	0,091	0,138	0,215	0,279	0,345	0,389	0,416
137	223,99	»	1,989	0,090	0,137	0,215	0,285	0,338	0,367	0,425
138	225,49	0,006	1,984	0,079	0,125	0,206	0,271	0,323	0,361	0,429
139	227,01	»	1,991	0,086	0,129	0,212	0,280	0,328	0,373	0,434
140	228,39	0,011	1,978	0,091	0,140	0,219	0,284	0,338	0,368	0,441
141	229,77	»	1,983	0,088	0,139	0,222	0,290	0,349	0,370	0,440
142	231,17	0,018	1,984	0,091	0,140	0,223	0,288	0,346	0,375	0,428
143	232,67	»	1,990	0,096	0,145	0,226	0,292	0,352	0,398	0,444
144	234,15	0,023	1,982	0,092	0,139	0,222	0,285	0,343	0,385	0,436
145	235,57	»	1,985	0,091	0,137	0,219	0,291	0,338	0,390	0,441
146	236,99	0,026	1,983	0,090	0,140	0,221	0,283	0,341	0,383	0,423
147	238,39	»	1,980	0,086	0,139	0,219	0,288	0,340	0,380	0,446
148	239,63	0,033	1,980	0,095	0,143	0,223	0,288	0,348	0,391	0,436
149	240,99	»	1,986	0,091	0,143	0,228	0,292	0,343	0,390	0,436
150	242,33	0,040	1,970	0,093	0,148	0,225	0,287	0,346	0,391	0,440
151	243,65	»	1,973	0,092	0,142	0,223	0,290	0,339	0,384	0,437
152	244,95	0,040	1,979	0,091	0,143	0,223	0,286	0,338	0,386	0,442
153	246,55	»	1,974	0,095	0,147	0,229	0,289	0,323	0,397	0,440
154	248,05	0,046	1,979	0,090	0,145	0,225	0,292	0,344	0,394	0,441
155	249,65	»	1,973	0,091	0,142	0,220	0,285	0,338	0,389	0,440
156	250,99	0,050	1,985	0,096	0,145	0,225	0,287	0,335	0,393	0,440

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
157	252,25	»	1,984	0,095	0,145	0,227	0,288	0,348	0,387	0,446
158	253,61	0,057	1,975	0,097	0,149	0,227	0,289	0,347	0,397	0,448
159	255,31	»	1,987	0,097	0,148	0,227	0,290	0,344	0,393	0,449
160	257,01	0,056	1,989	0,094	0,143	0,222	0,286	0,341	0,386	0,440
161	258,57	»	1,986	0,096	0,146	0,225	0,284	0,347	0,390	0,442
162	260,09	0,062	1,987	0,096	0,147	0,227	0,286	0,340	0,391	0,442
163	261,83	»	1,990	0,092	0,142	0,221	0,280	0,340	0,389	0,443
164	263,43	0,064	1,983	0,096	0,146	0,222	0,287	0,340	0,391	0,441
165	265,17	»	1,989	0,092	0,141	0,216	0,285	0,340	0,388	0,441
166	267,07	0,068	1,986	0,087	0,136	0,213	0,279	0,329	0,384	0,434
167	269,15	»	1,983	0,091	0,140	0,216	0,281	0,337	0,390	0,437
168	270,70	0,079	1,992	0,097	0,146	0,225	0,287	0,345	0,396	0,445
169	272,20	»	1,985	0,096	0,142	0,223	0,284	0,342	0,396	0,442
170	273,80	0,083	1,995	0,096	0,142	0,219	0,285	0,349	0,393	0,446
171	275,36	»	1,990	0,091	0,142	0,217	0,280	0,333	0,390	0,439
172	276,96	0,085	1,983	0,093	0,141	0,217	0,278	0,334	0,385	0,435
173	278,46	»	1,988	0,092	0,142	0,215	0,276	0,337	0,385	0,438
174	279,90	0,089	1,988	0,090	0,140	0,214	0,279	0,335	0,382	0,436
175	281,90	»	1,992	0,090	0,138	0,213	0,277	0,330	0,384	0,437
176	283,78	0,091	1,966	0,082	0,126	0,200	0,264	0,318	0,370	0,423
177	285,58	»	1,989	0,088	0,135	0,214	0,275	0,329	0,384	0,434
178	287,40	0,102	1,972	0,088	0,137	0,213	0,275	0,326	0,380	0,430
179	289,34	»	1,979	0,086	0,134	0,210	0,271	0,329	0,381	0,433
180	291,28	0,105	1,980	0,088	0,136	0,218	0,272	0,328	0,380	0,436
181	292,70	»	1,988	0,092	0,138	0,217	0,281	0,339	0,387	0,439
182	294,00	0,114	1,983	0,091	0,140	0,215	0,276	0,336	0,384	0,435
183	295,50	»	1,978	0,091	0,139	0,214	0,277	0,340	0,382	0,436
184	297,04	0,118	1,972	0,094	0,145	0,219	0,283	0,339	0,387	0,439
185	298,24	»	1,973	0,090	0,137	0,215	0,275	0,335	0,383	0,439
186	300,20	0,122	1,979	0,094	0,141	0,219	0,281	0,336	0,388	0,441
187	302,26	»	1,976	0,087	0,135	0,213	0,275	0,328	0,383	0,436
188	304,24	0,129	1,989	0,091	0,140	0,218	0,279	0,334	0,382	0,438
189	306,12	»	1,980	0,091	0,139	0,216	0,278	0,338	0,382	0,437
190	307,79	0,134	1,982	0,091	0,140	0,217	0,281	0,333	0,387	0,439
191	309,49	»	1,986	0,093	0,141	0,219	0,281	0,336	0,386	0,436
192	311,07	0,138	1,980	0,092	0,143	0,219	0,280	0,336	0,380	0,434
193	312,26	»	1,983	0,092	0,143	0,220	0,282	0,337	0,384	0,437
194	313,72	0,142	1,997	0,093	0,140	0,218	0,281	0,338	0,385	0,440
195	315,28	»	1,980	0,093	0,140	0,226	0,281	0,330	0,376	0,441
196	316,96	0,149	1,992	0,094	0,143	0,221	0,285	0,336	0,389	0,445
197	318,72	»	1,998	0,093	0,143	0,220	0,286	0,337	0,388	0,441
198	320,00	0,154	1,976	0,091	0,144	0,217	0,280	0,328	0,383	0,433

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m3,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m3,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m3,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m3,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m3,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1m3,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1m3,236.
199	322,09	»	1,967	0,085	0,134	0,209	0,273	0,323	0,370	0,420
200	323,65	0,156	1,970	0,092	0,139	0,214	0,280	0,332	0,376	0,433
201	325,09	»	1,970	0,090	0,137	0,212	0,278	0,330	0,377	0,430
202	326,40	0,163	1,970	0,092	0,139	0,215	0,276	0,330	0,380	0,430
203	327,98	»	1,971	0,094	0,141	0,211	0,280	0,330	0,383	0,438
204	329,44	0,167	1,966	0,093	0,141	0,213	0,275	0,330	0,379	0,433
205	330,85	»	1,975	0,092	0,141	0,214	0,279	0,333	0,382	0,431
206	332,18	0,171	1,970	0,095	0,143	0,207	0,279	0,333	0,384	0,432
207	333,80	»	1,980	0,092	0,141	0,212	0,274	0,331	0,374	0,427
208	335,34	0,178	1,973	0,089	0,140	0,214	0,270	0,329	0,373	0,425
209	337,00	»	1,974	0,088	0,138	0,213	0,276	0,327	0,374	0,424
210	338,30	0,183	1,980	0,094	0,143	0,216	0,280	0,329	0,374	0,429
211	339,60	»	1,975	0,094	0,140	0,215	0,276	0,327	0,371	0,423
212	340,92	0,185	1,975	0,096	0,143	0,225	0,277	0,327	0,378	0,433
213	342,16	»	1,976	0,095	0,145	0,217	0,277	0,326	0,381	0,430
214	343,64	0,187	1,985	0,092	0,143	0,213	0,277	0,326	0,374	0,427
215	344,98	»	1,977	0,095	0,144	0,215	0,278	0,329	0,374	0,426
216	346,68	0,191	1,977	0,090	0,138	0,207	0,268	0,325	0,373	0,423
217	348,26	»	1,976	0,081	0,130	0,201	0,259	0,309	0,362	0,412
218	349,74	0,197	1,972	0,086	0,134	0,201	0,258	0,312	0,358	0,410
219	351,24	»	1,974	0,083	0,130	0,199	0,258	0,308	0,358	0,414
220	352,68	0,200	1,977	0,092	0,135	0,205	0,266	0,309	0,361	0,420
221	354,22	»	1,972	0,092	0,139	0,202	0,267	0,311	0,367	0,422
222	355,54	0,210	1,980	0,093	0,139	0,210	0,267	0,316	0,374	0,427
223	356,98	»	1,967	0,088	0,132	0,191	0,257	0,306	0,356	0,416
224	358,43	0,211	1,981	0,080	0,127	0,191	0,253	0,301	0,349	0,409
225	359,74	»	1,986	0,086	0,130	0,198	0,257	0,308	0,358	0,423
226	361,16	0,212	1,973	0,073	0,115	0,178	0,238	0,282	0,333	0,390
227	362,30	»	1,980	0,077	0,118	0,183	0,242	0,303	0,350	0,417
228	363,64	0,218	1,978	0,080	0,123	0,186	0,253	0,304	0,353	0,404
229	364,98	»	1,978	0,080	0,120	0,183	0,247	0,292	0,347	0,403
230	366,26	0,227	1,980	0,083	0,123	0,187	0,246	0,295	0,356	0,419
231	367,56	»	1,968	0,075	0,116	0,172	0,229	0,287	0,343	0,399
232	368,90	0,226	1,972	0,068	0,106	0,167	0,225	0,277	0,343	0,410
233	370,26	0,232	1,977	0,060	0,094	0,143	0,217	0,283	0,348	0,411

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE
POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS 149 ET 198.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
	m. c.						
1	0,100	0,0920	0,1824	2,1670	0,0842	0,548	0,000420
2	0,203	0,1414	0,2804	2,2658	0,1237	0,724	0,000354
3	0,415	0,2192	0,4347	2,4214	0,1799	0,945	0,000302
4	0,618	0,2818	0,5588	2,5466	0,2194	1,106	0,000269
5	0,824	0,3366	0,6675	2,6562	0,2513	1,234	0,000247
6	1,030	0,3866	0,7666	2,7562	0,2781	1,343	0,000231
7	1,236	0,4388	0,8701	2,8606	0,3042	1,420	0,000226

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,718	0,552	0,769	0,686	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 184 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 162 et n° 198.
2	0,928	0,731	0,788	0,886	
3	1,231	0,954	0,775	1,115	
4	1,395	1,115	0,799	1,336	
5	1,518	1,240	0,817	1,495	
6	1,629	1,348	0,827	1,621	
7	1,743	1,424	0,817	1,783	

SÉRIE N° 10. (Voir p. 85-86, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0059 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,987 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences n°s 5, 6 et 7 ; fort vent d'aval pour les expériences n°s 1, 2, 3 et 4. — Température de l'eau : 14°5. — Dates des expériences : 22, 23, 27, 28, 29, 30 avril et 1er mai 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
59	100,00	0	1,973	0,087	0,138	0,218	0,301	0,355	0,401	0,452
60	101,69	"	1,984	0,058	0,110	0,144	0,188	0,245	0,266	0,301
61	103,15	0,018	1,990	0,055	0,086	0,138	0,185	0,238	0,268	0,301
62	104,74	"	1,983	0,053	0,082	0,136	0,184	0,234	0,259	0,297
63	106,04	0,036	1,980	0,054	0,081	0,135	0,182	0,225	0,258	0,294
64	107,34	"	1,977	0,060	0,088	0,140	0,189	0,225	0,263	0,298
65	108,70	0,049	1,973	0,057	0,086	0,141	0,181	0,236	0,255	0,296
66	110,00	"	1,986	0,056	0,078	0,142	0,177	0,215	0,256	0,290
67	111,34	0,069	1,984	0,052	0,082	0,135	0,177	0,223	0,252	0,289
68	112,65	"	1,983	0,056	0,084	0,138	0,179	0,220	0,253	0,292
69	113,99	0,081	1,982	0,055	0,082	0,135	0,173	0,216	0,254	0,285
70	115,34	"	1,987	0,049	0,075	0,124	0,169	0,209	0,242	0,265
71	116,68	0,104	1,982	0,055	0,085	0,130	0,172	0,213	0,249	0,278
72	118,34	"	1,980	0,050	0,085	0,131	0,173	0,208	0,245	0,276
73	120,00	0,127	1,982	0,049	0,083	0,124	0,168	0,209	0,239	0,273
74	121,71	"	1,981	0,056	0,088	0,133	0,172	0,217	0,247	0,276
75	123,66	0,147	1,980	0,055	0,084	0,126	0,178	0,212	0,248	0,279
76	125,66	"	1,984	0,053	0,086	0,130	0,173	0,208	0,239	0,277
77	127,04	0,168	1,984	0,056	0,086	0,130	0,172	0,216	0,246	0,279
78	128,34	"	1,987	0,050	0,087	0,125	0,171	0,208	0,239	0,268
79	129,71	0,183	1,985	0,055	0,084	0,129	0,171	0,208	0,239	0,273
80	131,71	"	1,982	0,052	0,080	0,127	0,168	0,204	0,237	0,273
81	133,65	0,207	1,972	0,053	0,083	0,128	0,169	0,203	0,237	0,271

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},236$.
82	135,65	"	1,982	0,053	0,080	0,127	0,163	0,198	0,233	0,265
83	137,65	0,231	1,992	0,052	0,087	0,126	0,167	0,203	0,233	0,266
84	138,89	"	1,984	0,054	0,079	0,128	0,167	0,206	0,237	0,266
85	140,03	0,243	1,980	0,059	0,086	0,133	0,170	0,207	0,238	0,266
86	141,70	"	1,975	0,056	0,085	0,125	0,169	0,209	0,242	0,268
87	143,36	0,269	1,990	0,054	0,085	0,127	0,171	0,204	0,240	0,268
88	145,04	"	1,988	0,056	0,085	0,142	0,167	0,204	0,233	0,267
89	146,69	0,288	1,983	0,055	0,087	0,129	0,167	0,202	0,235	0,267
90	148,37	"	1,987	0,060	0,088	0,134	0,172	0,211	0,237	0,269
91	150,00	0,301	1,987	0,055	0,086	0,132	0,170	0,206	0,235	0,266
92	151,56	"	1,983	0,052	0,080	0,126	0,165	0,199	0,234	0,261
93	153,25	0,325	1,986	0,052	0,081	0,122	0,164	0,197	0,229	0,259
94	154,90	"	1,990	0,050	0,078	0,121	0,163	0,198	0,228	0,257
95	156,50	0,344	1,992	0,056	0,084	0,132	0,171	0,204	0,233	0,261
96	158,14	"	1,991	0,057	0,087	0,134	0,169	0,204	0,228	0,261
97	160,00	0,363	1,987	0,053	0,081	0,125	0,169	0,202	0,234	0,263
98	162,10	"	1,988	0,054	0,083	0,129	0,168	0,203	0,239	0,266
99	164,10	0,392	1,992	0,052	0,079	0,128	0,166	0,208	0,229	0,257
100	166,10	"	1,987	0,052	0,081	0,125	0,164	0,201	0,239	0,260
101	168,02	0,415	1,983	0,057	0,080	0,126	0,164	0,202	0,235	0,262
102	170,09	"	1,986	0,056	0,088	0,129	0,164	0,202	0,240	0,260
103	171,79	0,436	1,986	0,060	0,086	0,131	0,174	0,204	0,239	0,266
104	173,44	"	1,984	0,058	0,088	0,133	0,170	0,205	0,241	0,263
105	175,16	0,448	1,980	0,061	0,088	0,134	0,168	0,211	0,242	0,266
106	176,72	"	1,987	0,053	0,083	0,126	0,164	0,203	0,235	0,262
107	178,22	0,473	1,983	0,052	0,081	0,129	0,171	0,204	0,234	0,269
108	180,00	"	1,980	0,053	0,085	0,132	0,174	0,207	0,235	0,269
109	181,92	0,495	1,987	0,054	0,083	0,131	0,172	0,203	0,237	0,266
110	183,82	"	1,938	0,052	0,080	0,124	0,163	0,198	0,230	0,263
111	185,52	0,521	1,986	0,056	0,084	0,129	0,169	0,199	0,228	0,263
112	186,92	"	1,990	0,059	0,087	0,129	0,167	0,201	0,235	0,264
113	188,22	0,528	1,986	0,058	0,086	0,132	0,166	0,206	0,237	0,270
114	189,67	"	1,991	0,057	0,085	0,131	0,173	0,204	0,235	0,266
115	191,13	0,545	1,990	0,055	0,086	0,134	0,168	0,202	0,232	0,260
116	192,61	"	1,987	0,059	0,091	0,136	0,172	0,203	0,238	0,272
117	194,26	0,565	1,988	0,056	0,083	0,130	0,170	0,201	0,233	0,268
118	195,97	"	1,995	0,058	0,085	0,135	0,176	0,206	0,231	0,272
119	197,23	0,581	1,988	0,054	0,088	0,132	0,173	0,201	0,238	0,268
120	198,53	"	1,990	0,050	0,079	0,132	0,166	0,206	0,232	0,262
121	200,00	0,604	1,994	0,060	0,137	0,190	0,171	0,208	0,240	0,270
122	201,53	"	1,987	0,093	0,148	0,245	0,265	0,353	0,405	0,449

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},236$.
123	202,91	»	1,987	0,113	0,174	0,241	0,288	0,382	0,430	0,427
124	204,35	»	1,988	0,134	0,185	0,263	0,337	0,432	0,392	0,456
125	205,80	»	1,977	0,142	0,195	0,269	0,357	0,413	0,408	0,510
126	207,22	»	1,985	0,141	0,189	0,292	0,354	0,436	0,429	0,538
127	208,76	»	1 990	0,137	0,192	0,299	0,359	0,400	0,417	0,531
128	210,31	»	1,989	1,145	0,197	0,296	0,355	0,397	0,437	0,531

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE
POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 82 ET 119.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0553	0,1099	2,0976	0,0524	0,910	0,000373
2	0,203	0,0842	0,1673	2,1554	0,0776	1,213	0,000311
3	0,411	0,1297	0,2577	2,2464	0,1147	1,595	0,000266
4	0,618	0,1684	0,3346	2,3238	0,1440	1,847	0,000249
5	0,824	0,2034	0,4042	2,3938	0,1688	2,039	0,000240
6	1,030	0,2350	0,4669	2,4570	0,1900	2,206	0,000230
7	1,236	0,2648	0,5262	2,5166	0,2091	2,349	0,000223

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,156	0,931	0,805	1,085	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 89 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 73 et n° 102.
2	1,497	1,223	0,817	1,449	
3	1,964	1,612	0,821	1,889	
4	2,257	1,849	0,819	2,215	
5	2,467	2,023	0,820	2,442	
6	2,614	2,192	0,838	2,602	
7	2,838	2,334	0,822	2,840	

SÉRIE N° 11. (Voir p. 85-86, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,00839 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,982 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences nos 1, 4, 5 et 7 ; temps calme pour les expériences nos 2, 3 et 6. — Température de l'eau : 16° pour les expériences nos 1, 2, 3 ; 21° pour les expériences 4, 5, 6 et 7. — Dates des expériences : 25, 27, 28, 29 mai ; 2 et 3 juin 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 315 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
315	486,21	0	1,980	0,065	0,097	0,180	0,206	0,251	0,301	0,331
316	488,01	"	1,977	0,052	0,083	0,138	0,185	0,224	0,271	0,308
317	489,81	0,040	1,983	0,051	0,079	0,132	0,180	0,224	0,257	0,286
318	491,17	"	1,985	0,049	0,077	0,125	0,173	0,213	0,246	0,295
319	492,53	0,072	1,990	0,050	0,077	0,127	0,173	0,209	0,244	0,278
320	493,77	"	1,994	0,044	0,069	0,117	0,160	0,200	0,235	0,271
321	495,11	0,091	1,984	0,048	0,073	0,119	0,165	0,203	0,232	0,270
322	496,55	"	1,983	0,048	0,074	0,116	0,158	0,197	0,230	0,264
323	497,75	0,120	1,978	0,047	0,075	0,117	0,164	0,200	0,231	0,265
324	499,05	"	1,984	0,048	0,070	0,115	0,161	0,196	0,225	0,254
325	500,45	0,146	1,987	0,046	0,073	0,114	0,160	0,188	0,233	0,253
326	501,65	"	1,988	0,048	0,072	0,115	0,156	0,187	0,220	0,254
327	502,95	0,165	1,990	0,046	0,071	0,111	0,154	0,190	0,221	0,252
328	504,39	"	1,979	0,049	0,071	0,113	0,154	0,188	0,223	0,247
329	505,69	0,189	1,984	0,046	0,074	0,115	0,154	0,188	0,221	0,244
330	506,95	"	1,985	0,044	0,073	0,111	0,151	0,180	0,214	0,245
331	508,45	0,212	1,978	0,047	0,076	0,113	0,156	0,188	0,216	0,245
332	509,85		1,983	0,046	0,074	0,114	0,151	0,183	0,215	0,246

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 315 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde. 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
333	511,35	0,242	1,982	0,046	0,070	0,113	0,151	0,184	0,216	0,242
334	513,15	"	1,976	0,046	0,069	0,109	0,150	0,182	0,211	0,237
335	514,75	0,271	1,980	0,046	0,071	0,112	0,148	0,179	0,212	0,238
336	516,05	"	1,987	0,046	0,073	0,113	0,150	0,182	0,213	0,240
337	517,45	0,290	1,978	0,045	0,075	0,109	0,146	0,178	0,212	0,239
338	518,69	"	1,988	0,045	0,074	0,112	0,150	0,185	0,211	0,238
339	520,19	0,324	1,984	0,046	0,070	0,111	0,147	0,183	0,208	0,238
340	522,05	"	1,982	0,046	0,073	0,112	0,150	0,182	0,211	0,234
341	523,61	0,353	1,984	0,049	0,073	0,114	0,147	0,182	0,212	0,236
342	524,93	"	1,978	0,041	0,068	0,116	0,148	0,182	0,207	0,238
343	526,29	9,380	1,986	0,051	0,073	0,119	0,154	0,182	0,208	0,237
344	527,53	"	1,988	0,048	0,077	0,117	0,149	0,183	0,209	0,240
345	528,63	0,396	1,978	0,046	0,075	0,114	0,145	0,178	0,205	0,235
346	529,83	"	1,975	0,049	0,077	0,115	0,150	0,183	0,210	0,241
347	531,49	0,409	1,983	0,055	0,079	0,121	0,154	0,192	0,215	0,243
348	533,15	"	1,982	0,046	0,073	0,113	0,150	0,187	0,212	0,234
349	534,81	0,453	1,980	0,040	0,069	0,110	0,149	0,183	0,207	0,228
350	336,21	"	1,982	0,045	0,070	0,107	0,140	0,172	0,202	0,228
351	537,57	0,480	1,978	0,043	0,070	0,110	0,146	0,178	0,207	0,232
352	538,83	"	1,980	0,048	0,069	0,109	0,143	0,171	0,202	0,232
353	540,17	0,496	1,983	0,048	0,074	0,114	0,150	0,181	0,210	0,233
354	541,51	"	1,982	0,049	0,073	0,113	0,150	0,182	0,210	0,236
355	542,81	0,522	1,982	0,048	0,075	0,115	0,147	0,177	0,208	0,235
356	544,15	"	1,986	0,048	0,071	0,112	0,148	0,179	0,210	0,232
357	545,49	0,543	1,977	0,040	0,071	0,110	0,146	0,177	0,205	0,234
358	546,79	"	1,982	0,044	0,074	0,111	0,147	0,178	0,206	0,231
359	548,25	0,569	1,988	0,043	0,071	0,112	0,145	0,177	0,206	0,233
360	549,79	"	1,987	0,044	0,070	0,109	0,148	0,180	0,206	0,231
361	551,43	0,595	1,983	0,047	0,078	0,111	0,148	0,182	0,210	0,232
362	553,43	"	1,980	0,045	0,071	0,114	0,147	0,174	0,206	0,230
363	555,29	0,625	1,981	0,053	0,075	0,118	0,153	0,182	0,212	0,233
364	557,13	"	1,984	0,052	0,084	0,113	0,154	0,182	0,212	0,236
365	558,93	0,649	1,982	0,046	0,078	0,116	0,152	0,181	0,209	0,234
366	560,69	"	1,981	0,048	0,075	0,117	0,158	0,188	0,212	0,238
367	562,53	0,678	1,986	0,047	0,074	0,115	0,155	0,188	0,212	0,238
368	564,29	"	1,979	0,055	0,074	0,119	0,156	0,191	0,216	0,241
369	566,13	0,704	1,982	0,046	0,080	0,114	0,155	0,191	0,216	0,239
370	567,89	"	1,984	0,050	0,081	0,125	0,161	0,198	0,221	0,247
371	569,73	0,724	1,985	0,045	0,071	0,099	0,146	0,176	0,200	0,222

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE,

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 340 ET 365.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0467	0,0926	2,0754	0,0446	1,080	0,000321
2	0,203	0,0735	0,1457	2,1290	0,0684	1,394	0,000296
3	0,411	0,1133	0,2246	2,2086	0,1019	1,830	0,000255
4	0,618	0,1485	0,2943	2,2790	0,1292	2,100	0,000246
5	0,824	0,1803	0,3574	2,3426	0,1525	2,306	0,000241
6	1,030	0,2083	0,4129	2,3986	0,1721	2,495	0,000232
7	1,236	0,2341	0,4640	2,4502	0,1894	2,664	0,000224

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,292	1,094	0,847	1,253	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 348 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n° 332 et n° 360.
2	1,671	1,415	0,847	1,627	
3	2,269	1,841	0,811	2,223	
4	2,571	2,104	0,818	2,528	
5	2,832	2,300	0,812	2,815	
6	2,979	2,484	0,834	2,988	
7	3,169	2,644	0,834	3,116	

SÉRIE N° 12. (Voir p. 85-87, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX DE 0m,027 DE LARGEUR, ESPACÉS DE 0m,01.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,960 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur espacés de 0m,01. — Direction et intensité du vent : vent fort d'amont pour les expériences n°s 1, 2, 3, 4 ; très-fort pour l'expérience n° 7 ; temps calme pour les expériences n°s 5 et 6. — Température de l'eau : 8°,5 pour les expériences n°s, 1, 2, 3, 4 et 7 ; 6° pour les expériences n°s 5 et 6. — Dates des expériences : 9, 18 et 19 février 1859.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,894.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,136.
134	220,00	0	1,957	0,105	0,161	0,249	0,324	0,384	0,449	0,517
136	222,72	0,002	1,962	0,097	0,154	0,235	0,310	0,381	0,433	0,505
138	225,49	0,006	1,962	0,088	0,147	0,230	0,303	0,367	0,432	0,496
140	228,39	0,011	1,964	0,097	0,154	0,239	0,317	0,374	0,439	0,504
142	231,17	0,018	1,964	0,102	0,157	0,243	0,319	0,396	0,446	0,508
144	234,15	0,023	1,962	0,103	0,160	0,240	0,316	0,387	0,450	0,509
146	236,99	0,026	1,959	0,102	0,156	0,254	0,316	0,380	0,447	0,504
148	239,63	0,033	1,955	0,101	0,161	0,248	0,324	0,356	0,447	0,509
150	242,33	0,040	1,950	0,102	0,162	0,249	0,325	0,386	0,447	0,512
152	244,95	0,040	1,960	0,103	0,162	0,246	0,321	0,387	0,445	0,510
154	248,05	0,046	1,957	0,105	0,159	0,246	0,320	0,385	0,445	0,508
156	250,99	0,050	1,963	0,103	0,161	0,243	0,320	0,381	0,446	0,506
158	253,61	0,057	1,954	0,106	0,163	0,249	0,324	0,386	0,445	0,508
160	257,01	0,056	1,964	0,106	0,161	0,246	0,318	0,386	0,439	0,506
162	260,09	0,062	1,962	0,106	0,162	0,248	0,319	0,384	0,440	0,507
164	263,43	0,064	1,957	0,096	0,154	0,235	0,308	0,372	0,434	0,497
166	267,07	0,068	1,959	0,098	0,150	0,239	0,310	0,373	0,433	0,493
167	269,15	»	1,955	0,103	0,157	0,239	0,312	0,376	0,438	0,498
168	270,70	0,079	1,972	0,110	0,166	0,248	0,325	0,385	0,445	0,506
169	272,20	»	1,962	0,106	0,161	0,245	0,317	0,378	0,437	0,500
170	273,80	0,083	1,972	0,102	0,156	0,241	0,312	0,376	0,435	0,497
171	275,36	»	1,970	0,103	0,155	0,240	0,312	0,377	0,432	0,494
172	276,96	0,085	1,964	0,098	0,152	0,237	0,308	0,368	0,427	0,487
173	278,46	»	1,968	0,100	0,154	0,239	0,310	0,375	0,432	0,488
174	279,90	0,089	1,966	0,100	0,152	0,237	0,308	0,377	0,430	0,492
175	281,90	»	1,967	0,098	0,151	0,235	0,305	0,372	0,430	0,490

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},36$.
176	283,78	0,091	1,952	0,093	0,145	0,231	0,299	0,364	0,423	0,480
177	295,58	"	1,964	0,098	0,149	0,236	0,303	0,370	0,427	0,487
178	287,40	0,102	1,952	0,096	0,150	0,232	0,303	0,369	0,426	0,483
179	289,34	"	1,954	0,093	0,149	0,234	0,301	0,365	0,423	0,484
180	291,28	0,105	1,962	0,099	0,154	0,240	0,306	0,373	0,432	0,490
181	292,70	"	1,961	0,098	0,156	0,238	0,307	0,374	0,432	0,491
182	294,00	0,114	1,960	0,103	0,158	0,241	0,309	0,377	0,433	0,491
183	295,50	"	1,955	0,103	0,155	0,241	0,308	0,373	0,433	0,492
184	297,04	0,118	1,967	0,105	0,154	0,244	0,315	0,376	0,434	0,496
185	298,24	"	1,952	0,100	0,157	0,239	0,308	0,368	0,428	0,484
186	300,20	0,122	1,952	0,107	0,160	0,244	0,315	0,378	0,434	0,490
187	302,26	"	1,953	0,101	0,155	0,240	0,308	0,373	0,429	0,490
188	304,24	0,129	1,963	0,100	0,154	0,239	0,309	0,371	0,432	0,487
189	306,12	"	1,954	0,104	0,156	0,238	0,310	0,370	0,432	0,491
190	307,79	0,134	1,957	0,101	0,154	0,238	0,308	0,372	0,428	0,489
191	309,49	"	1,961	0,102	0,156	0,238	0,308	0,369	0,428	0,485
192	311,07	0,138	1,959	0,103	0,156	0,241	0,310	0,373	0,430	0,490
193	312,26	"	1,956	0,104	0,157	0,243	0,310	0,375	0,431	0,489
194	313,72	0,142	1,951	0,102	0,156	0,240	0,308	0,371	0,427	0,485
195	315,28	"	1,958	0,104	0,157	0,241	0,308	0,367	0,428	0,489
196	316,96	0,149	1,972	0,106	0,160	0,244	0,309	0,373	0,436	0,491
197	318,72	"	1,975	0,100	0,157	0,239	0,307	0,365	0,430	0,489
198	320,00	0,154	1,955	0,100	0,156	0,241	0,307	0,370	0,426	0,483
200	323,65	0,156	1,941	0,094	0,157	0,238	0,307	0,368	0,426	0,483
202	326,40	0,163	1,948	0,103	0,156	0,237	0,304	0,367	0,422	0,481
204	329,44	0,167	1,944	0,105	0,160	0,237	0,308	0,367	0,424	0,484
206	332,18	0,171	1,950	0,104	0,155	0,235	0,302	0,364	0,417	0,476
208	335,34	0,178	1,946	0,101	0,154	0,232	0,300	0,360	0,418	0,475
210	338,30	0,183	1,951	0,107	0,157	0,235	0,304	0,363	0,423	0,471
212	340,92	0,185	1,948	0,107	0,155	0,235	0,303	0,360	0,415	0,478
214	343,64	0,187	1,960	0,103	0,152	0,230	0,298	0,357	0,417	0,474
216	346,68	0,191	1,953	0,098	0,149	0,223	0,291	0,350	0,410	0,466
218	349,74	0,197	1,948	0,095	0,145	0,220	0,287	0,340	0,401	0,462
220	352,68	0,200	1,947	0,100	0,150	0,223	0,287	0,342	0,404	0,461
222	355,54	0,210	1,955	0,101	0,156	0,226	0,293	0,349	0,409	0,465
224	358,43	0,211	1,960	0,096	0,147	0,215	0,280	0,340	0,400	0,459
226	361,16	0,212	1,951	0,087	0,136	0,206	0,271	0,327	0,386	0,446
228	363,64	0,218	1,953	0,093	0,140	0,210	0,279	0,336	0,395	0,458
230	366,26	0,227	1,956	0,094	0,138	0,207	0,274	0,335	0,394	0,456
232	368,90	0,226	1,950	0,084	0,137	0,204	0,267	0,327	0,389	0,451
233	370,26	0,232	1,951	"	"	"	"	"	"	"

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE,

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 150 ET 198.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,1016	0,1991	2,1632	0,0921	0,502	0,000548
2	0,203	0,1561	0,3060	2,2722	0,1346	0,663	0,000459
3	0,411	0,2406	0,4716	2,4412	0,1932	0,871	0,000396
4	0,618	0,3110	0,6096	2,5820	0,2361	1,014	0,000368
5	0,824	0,3746	0,7342	2,7092	0 2710	1,122	0,000352
6	1,030	0,4332	0,8491	2,8264	0,3004	1,213	0,000338
7	1,236	0,4933	0,9669	2,9466	0,3281	1,278	0,000338

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,670	0,503	0,751	0,642	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 184 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 167 et 198.
2	0,876	0,668	0,762	0,829	
3	1,156	0,875	0,757	1,094	
4	1,334	1,020	0,765	1,291	
5	1,471	1,128	0,767	1,468	
6	1,545	1,219	0,789	1,547	
7	1,600	1,286	0,804	1,603	

SÉRIE N° 13. (Voir p. 85-87, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX DE 0m,027 DE LARGEUR, ESPACÉS DE 0m,01.

Pente longitudinale du fond : 0m,0059 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,961 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur, espacés de 0m,01. — Direction et intensité du vent : temps calme pour les expériences nos 3, 4, 5 et 6 ; vent fort de côté pour les expériences nos 1, 2 et 7. — Température de l'eau : 5°,5 pour les expériences nos 1, 2, 3 et 4 ; 7° pour les expériences nos 5, 6 et 7. — Dates des expériences : 5, 6, 7 et 8 janvier 1859.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
59	100,00	0	1,955	0,099	0,139	0,219	0,294	0,355	0,402	0,456
60	101,59	»	1,964	0,061	0,100	0,164	0,211	0,248	0,289	0,328
61	103,15	0,018	1,963	0,060	0,099	0,162	0,214	0,253	0,294	0,329
62	104,74	»	1,955	0,060	0,098	0,158	0,204	0,252	0,290	0,328
63	106,04	0,036	1,960	0,071	0,104	0,158	0,204	0,248	0,288	0,327
64	107,34	»	1,960	0,065	0,105	0,174	0,209	0,265	0,308	0,346
65	108,70	0,049	1,940	0,061	0,098	0,152	0,203	0,251	0,292	0,325
66	110,00	»	1,958	0,069	0,097	0,153	0,204	0,246	0,281	0,319
67	111,34	0,069	1,960	0,062	0,093	0,153	0,202	0,248	0,284	0,320
68	112,65	»	1,957	0,067	0,109	0,161	0,206	0,251	0,276	0,313
69	113,99	0,081	1,958	0,059	0,096	0,150	0,202	0,251	0,283	0,316
70	115,34	»	1,963	0,058	0,094	0,151	0,195	0,241	0,274	0,307
71	116,68	0,104	1,956	0,066	0,104	0,157	0,203	0,243	0,280	0,321
72	118,34	»	1,952	0,065	0,097	0,152	0,200	0,243	0,285	0,310
73	120,00	0,127	1,960	0,071	0,105	0,156	0,202	0,240	0,278	0,315
74	121,71	»	1,956	0,066	0,107	0,168	0,210	0,253	0,288	0,330
75	123,66	0,147	1,953	0,065	0,100	0,159	0,208	0,252	0,290	0,331
76	125,16	»	1,961	0,061	0,097	0,157	0,207	0,245	0,285	0,333
77	127,04	0,168	1,957	0,071	0,105	0,156	0,205	0,245	0,282	0,321
78	128,34	»	1,963	0,056	0,096	0,152	0,199	0,240	0,279	0,314
79	129,71	0,183	1,957	0,070	0,102	0,162	0,209	0,246	0,284	0,324
80	131,71	»	1,960	0,056	0,092	0,146	0,194	0,239	0,276	0,310
81	133,65	0,207	1,950	0,067	0,109	0,165	0,211	0,250	0,290	0,320

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m³,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m³,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m³,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m³,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m³,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1m³,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1m³,236.
82	135,65	»	1,958	0,060	0,096	0,152	0,197	0,241	0,278	0,315
83	137,65	0,231	1,963	0,077	0,107	0,162	0,210	0,247	0,286	0,322
84	138,89	»	1,962	0,071	0,104	0,164	0,212	0,254	0,289	0,326
85	140,03	0,243	1,955	0,065	0,108	0,163	0,208	0,245	0,285	0,326
86	141,70	»	1,950	0,061	0,097	0,151	0,201	0,245	0,282	0,325
87	143,36	0,269	1,964	0,068	0,098	0,151	0,197	0,241	0,271	0,314
88	145,04	»	1,963	0,063	0,101	0,151	0,199	0,241	0,268	0,316
89	146,69	0,288	1,968	0,073	0,107	0,153	0,200	0,244	0,280	0,317
90	148,37	»	1,965	0,074	0,104	0,165	0,212	0,252	0,282	0,316
91	150,00	0,301	1,964	0,058	0,095	0,151	0,200	0,242	0,279	0,315
92	151,56	»	1,962	0,063	0,094	0,147	0,195	0,235	0,270	0,310
93	153,25	0,325	1,964	0,069	0,097	0,152	0,196	0,235	0,271	0,311
94	154,90	»	1,965	0,077	0,107	0,151	0,196	0,240	0,275	0,310
95	156,50	0,344	1,968	0,071	0,106	0,156	0,206	0,248	0,283	0,316
96	158,14	»	1,964	0,065	0,102	0,160	0,208	0,252	0,286	0,321
97	160,00	0,363	1,963	0,074	0,119	0,161	0,206	0,250	0,282	0,322
98	162,10	»	1,960	0,067	0,095	0,153	0,196	0,244	0,280	0,320
99	164,10	0,392	1,966	0,061	0,095	0,150	0,195	0,242	0,277	0,314
100	166,10	»	1,964	0,065	0,097	0,149	0,200	0,239	0,274	0,318
101	168,02	0,415	1,962	0,075	0,107	0,158	0,203	0,241	0,276	0,318
102	170,09	»	1,964	0,068	0,106	0,165	0,219	0,256	0,291	0,328
103	171,79	0,436	1,965	0,080	0,122	0,188	0,232	0,264	0,302	0,357
104	173,44	»	1,960	0,070	0,106	0,171	0,212	0,263	0,308	0,364
105	175,16	0,448	1,956	0,063	0,099	0,154	0,203	0,247	0,322	0,395
106	176,72	»	1,959	0,070	0,101	0,155	0,200	0,298	0,348	0,401
107	178,22	0,473	1,954	0,075	0,109	0,153	0,215	0,300	0,374	0,432
108	180,00	»	1,958	0,064	0,100	0,160	0,235	0,314	0,387	0,438
109	181,92	0,495	1,972	0,062	0,096	0,156	0,274	0,346	0,409	0,461
110	183,82	»	1,968	0,072	0,094	0,214	0,296	0,366	0,428	0,482
111	185,52	0,521	1,967	0,071	0,103	0,216	0,306	0,374	0,432	0,493
112	186,92	»	1,969	0,077	0,121	0,232	0,314	0,381	0,441	0,507
113	188,22	0,528	1,957	0,075	0,119	0,223	0,320	0,390	0,452	0,507
114	189,67	»	1,968	0,078	0,128	0,248	0,327	0,402	0,462	0,519
115	191,13	0,545	1,967	0,072	0,139	0,250	0,340	0,412	0,472	0,532
116	192,61	»	1,965	0,078	0,141	0,258	»	0,411	»	0,530
117	194,26	0,565	1,965	0,080	0,159	0,274	0,360	»	0,486	0,545
118	195,97	»	1,973	0,086	0,170	0,282	»	0,445	»	0,556
119	197,23	0,581	1,972	0,094	0,176	0,288	0,374	»	0,504	0,565
120	198,53	»	1,971	0,110	0,191	0,305	»	0,459	»	0,578
121	200,00	0,604	1,976	0,129	0,209	0,325	0,414	0,481	0,541	0,595

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 73 ET 102.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0669	0,1312	2,0948	0,0626	0,762	0,000636
2	0,203	0,1018	0,1996	2,1646	0,0922	1,017	0,000526
3	0,411	0,1562	0,3063	2,2734	0,1347	1,342	0,000441
4	0,618	0,2034	0,3989	2,3678	0,1684	1,549	0,000414
5	0,824	0,2448	0,4800	2,4506	0,1959	1,716	0,000392
6	1,030	0,2806	0,5503	2,5222	0,2182	1,872	0,000367
7	1,236	0,3193	0,6261	2,5996	0,2409	1,974	0,000365

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,994	0,762	0,767	0,897	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 89 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 73 et 102.
2	1,320	1,017	0,770	1,213	
3	1,726	1,342	0,767	1,692	
4	2,032	1,549	0,762	1,986	
5	2,226	1,716	0,771	2,210	
6	2,419	1,872	0,774	2,356	
7	2,570	1,974	0,768	2,559	

SÉRIE N° 14. (Voir p. 85-87, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX DE 0m,027 DE LARGEUR, ESPACÉS DE 0m,01.

Pente longitudinale du fond : 0m,00886 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,952 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur, espacés de 0m,01. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences n.os 1, 5 et 7; temps calme pour les expériences n.os 2, 3, 4 et 6. — Température de l'eau : 14°. — Dates des expériences : 3, 5, 6 et 7 mai 1859.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 315 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,6.8.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
315	486,21	0	1,957	0,081	0,129	0,199	0,249	0,276	0,310	0,374
316	488,01	»	1,954	0,056	0,099	0,157	0,203	0,242	0,286	0,316
317	489,81	0,040	1,954	0,059	0,094	0,148	0,194	0,239	0,273	0,307
318	491,17	»	1,959	0,057	0,090	0,144	0,191	0,232	0,268	0,298
319	492,53	0,072	1,959	0,057	0,090	0,140	0,187	0,227	0,267	0,298
320	493,77	»	1,968	0,056	0,088	0,138	0,182	0,220	0,265	0,293
321	495,11	0,091	1,958	0,057	0,090	0,138	0,183	0,220	0,256	0,293
322	496,55	»	1,959	[illegible]59	0,090	0,139	0,183	0,217	0,255	0,285
323	497,75	0,120	1,967	0,054	0,086	0,134	0,178	0,215	0,251	0,286
324	499,05	»	1,964	0,059	0,095	0,140	0,182	0,220	0,258	0,287
325	500,45	0,146	1,969	0,059	0,092	0,140	0,183	0,220	0,255	0,285
326	501,65	»	1,971	0,058	0,093	0,141	0,183	0,219	0,252	0,286
327	502,95	0,165	1,967	0,057	0,090	0,140	0,179	0,217	0,252	0,288
328	504,39	»	1,967	0,058	0,092	0,141	0,183	0,217	0,255	0,285
329	505,69	0,189	1,963	0,060	0,094	0,142	0,183	0,219	0,256	0,289
330	506,95	»	1,969	0,058	0,094	0,143	0,183	0,221	0,254	0,288
331	508,45	0,212	1,970	0,056	0,088	0,134	0,176	0,213	0,251	0,283
332	509,85	»	1,963	0,057	0,088	0,139	0,183	0,219	0,254	0,285
333	511,35	0,242	1,956	0,059	0,092	0,139	0,179	0,217	0,255	0,289
334	513,15	»	1,964	0,057	0,090	0,138	0,180	0,213	0,253	0,284
335	514,75	0,271	1,957	0,063	0,095	0,145	0,183	0,216	0,257	0,286
336	516,05	»	1,960	0,065	0,096	0,149	0,183	0,218	0,262	0,290
337	517,45	0,290	1,959	0,063	0,094	0,147	0,185	0,224	0,254	0,288
338	518,69	»	1,957	0,059	0,094	0,143	0,183	0,219	0,253	0,288

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 315 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},236$.
339	520,19	0,324	1,959	0,062	0,090	0,138	0,177	0,215	0,254	0,286
340	522,05	»	1,965	0,059	0,090	0,140	0,176	0,213	0,246	0,285
341	523,61	0,353	1,958	0,060	0,094	0,141	0,180	0,217	0,254	0,289
342	524,93	»	1,962	0,060	0,094	0,143	0,181	0,220	0,256	0,288
343	526,29	0,380	1,959	0,062	0,097	0,143	0,183	0,221	0,257	0,292
344	527,53	»	1,950	0,060	0,090	0,145	0,182	0,221	0,255	0,288
345	528,63	0,396	1,955	0,057	0,087	0,140	0,181	0,218	0,252	0,287
346	529,83	»	1,970	0,062	0,093	0,142	0,184	0,217	0,251	0,285
347	531,49	0,409	1,952	0,060	0,097	0,148	0,189	0,224	0,257	0,291
348	533,15	»	1,947	0,054	0,087	0,138	0,177	0,214	0,253	0,287
349	534,81	0,453	1,945	0,049	0,079	0,126	0,163	0,204	0,241	0,278
350	536,21	»	1,956	0,052	0,081	0,131	0,170	0,209	0,240	0,270
351	537,57	0,480	1,953	0,056	0,086	0,138	0,172	0,210	0,243	0,276
352	538,83	»	1,948	0,070	0,093	0,139	0,180	0,216	0,248	0,288
353	540,17	0,496	1,950	0,059	0,092	0,143	0,183	0,218	0,251	0,286
354	541,51	»	1,940	0,058	0,094	0,137	0,184	0,219	0,256	0,290
355	542,81	0,522	1,935	0,062	0,096	0,142	0,184	0,223	0,257	0,298
356	544,15	»	1,936	0,058	0,091	0,143	0,182	0,220	0,254	0,290
357	545,49	0,543	1,946	0,056	0,091	0,140	0,179	0,219	0,255	0,287
358	546,79	»	1,939	0,056	0,087	0,139	0,179	0,214	0,250	0,283
359	548,25	0,569	1,928	0,057	0,089	0,141	0,181	0,218	0,251	0,289
360	549,79	»	1,949	0,058	0,088	0,135	0,179	0,214	0,250	0,285
361	551,43	0,595	1,938	0,067	0,100	0,149	0,189	0,224	0,257	0,291
362	553,43	»	1,941	0,057	0,092	0,141	0,183	0,219	0,267	0,288
363	555,29	0,625	1,946	0,074	0,104	0,148	0,188	0,224	0,260	0,298
364	557,13	»	1,941	0,076	0,096	0,149	0,189	0,225	0,262	0,299
365	558,93	0,649	1,939	0,059	0,096	0,144	0,186	0,224	0,262	0,297
366	560,69	»	1,926	0,062	0,095	0,150	0,188	0,227	0,264	0,303
367	562,53	0,678	1,927	0,062	0,094	0,144	0,190	0,227	0,264	0,302
368	564,29	»	1,931	0,067	0,105	0,156	0,201	0,237	0,271	0,309
369	566,13	0,704	1,927	0,059	0,094	0,148	0,194	0,233	0,270	0,307
370	567,89	»	1,928	0,058	0,095	0,149	0,192	0,230	0,266	0,303
371	569,73	0,724	1,951	0,049	0,072	0,118	0,155	0,192	0,221	0,252

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 332 ET 360.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0590	0,1152	2,0700	0,0556	0,868	0,000654
2	0,203	0,0909	0,1774	2,1338	0,0831	1,144	0,000563
3	0,411	0,1404	0,2741	2,2328	0,1227	1,500	0,000483
4	0,618	0,1801	0,3515	2,3122	0,1520	1,758	0,000436
5	0,824	0,2169	0,4234	2,3858	0,1775	1,946	0,000415
6	1,030	0,2524	0,4927	2,4568	0,2005	2,091	0,000406
7	1,236	0,2863	0,5539	2,5246	0,2214	2,212	0,000401

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,160	0,868	0,748	0,908	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 346 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 332 et 360.
2	1,542	1,144	0,742	1,365	
3	1,968	1,500	0,762	1,837	
4	2,298	1,758	0,765	2,206	
5	2,560	1,946	0,760	2,442	
6	2,747	2,091	0,761	2,665	
7	2,925	2,212	0,756	2,805	

SÉRIE N° 15. (Voir p. 85-87, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX DE 0m,027 DE LARGEUR, ESPACÉS DE 0m,05.

Pente longitudinale du fond : 0m0015 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,960 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur, espacés de 0m,05. — Direction et intensité du vent : vent d'amont pour l'expérience n° 1 ; d'aval pour les expériences n°s 2, 3, 4 et 5 ; très-fort pour l'expérience n° 2 ; vent de côté pour les expériences n°s 6 et 7. — Température de l'eau : 11° pour l'expérience n° 1 ; 15° pour l'expérience n° 2 ; 16°,5 pour les cinq autres. — Dates des expériences : 11, 15, 17, 18, 20 et 21 mai 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m3,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m3,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m3,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m3,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m3,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1m3,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1m3,236.
134	220,00	0	1,950	0,132	0,200	0,321	0,415	0,474	0,590	0,672
136	222,72	0,002	1,960	0,127	0,195	0,308	0,404	0,494	0,578	0,663
138	225,49	0,006	1,962	0,121	0,188	0,301	0,396	0,486	0,566	0,657
140	228,39	0,011	1,964	0,129	0,199	0,310	0,407	0,489	0,577	0,657
142	231,17	0,018	1,967	0,136	0,209	0,312	0,408	0,491	0,578	0,658
144	234,15	0,023	1,956	0,128	0,199	0,311	0,408	0,489	0,580	0,660
146	236,99	0,026	1,954	0,129	0,199	0,310	0,407	0,488	0,578	0,663
148	239,63	0,033	1,957	0,133	0,206	0,314	0,408	0,492	0,585	0,666
150	242,33	0,040	1,953	0,132	0,206	0,313	0,411	0,494	0,584	0,668
152	244,95	0,040	1,962	0,132	0,204	0,311	0,408	0,493	0,582	0,663
154	248,05	0,046	1,957	0,132	0,204	0,312	0,407	0,499	0,582	0,666
156	250,99	0,050	1,964	0,133	0,206	0,310	0,405	0,494	0,584	0,662
158	253,61	0,057	1,955	0,136	0,209	0,317	0,410	0,496	0,585	0,667
160	257,01	0,056	1,961	0,130	0,205	0,308	0,405	0,490	0,579	0,661
162	260,09	0,062	1,962	0,133	0,207	0,314	0,409	0,493	0,583	0,666
164	263,43	0,064	1,959	0,130	0,203	0,307	0,406	0,488	0,580	0,663
166	267,07	0,068	1,957	0,128	0,199	0,314	0,401	0,480	0,578	0,662
168	270,70	0,079	1,967	0,134	0,206	0,312	0,408	0,494	0,584	0,667
170	273,80	0,083	1,970	0,130	0,204	0,311	0,406	0,487	0,581	0,665

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},30$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},236$.
172	276,96	0,085	1,964	0,129	0,198	0,307	0,401	0,485	0,579	0,659
174	279,90	0,089	1,967	0,128	0,200	0,304	0,401	0,487	0,581	0,661
176	283,78	0,091	1,948	0,126	0,194	0,309	0,394	0,483	0,572	0,656
178	287,40	0,102	1,953	0,128	0,197	0,301	0,400	0,484	0,574	0,659
180	291,28	0,105	1,962	0,127	0,200	0,307	0,402	0,486	0,576	0,664
182	294,00	0,114	1,962	0,131	0,202	0,313	0,406	0,492	0,579	0,666
184	297,04	0,118	1,968	0,134	0,201	0,313	0,410	0,493	0,586	0,669
186	300,10	0,122	1,959	0,135	0,202	0,316	0,409	0,494	0,584	0,667
188	304,24	0,129	1,968	0,132	0,203	0,314	0,409	0,493	0,583	0,667
190	307,79	0,134	1,953	0,128	0,202	0,315	0,408	0,496	0,585	0,667
192	311,07	0,138	1,959	0,129	0,199	0,313	0,407	0,493	0,580	0,667
194	313,72	0,142	1,954	0,131	0,201	0,314	0,408	0,493	0,585	0,665
196	316,96	0,149	1,975	0,132	0,201	0,314	0,408	0,494	0,586	0,668
198	320,00	0,154	1,952	0,128	0,197	0,311	0,407	0,488	0,581	0,668
200	323,65	0,156	1,947	0,130	0,202	0,312	0,405	0,492	0,582	0,666
202	326,40	0,163	1,949	0,129	0,197	0,312	0,408	0,491	0,584	0,665
204	329,44	0,167	1,943	0,126	0,197	0,312	0,406	0,492	0,582	0,666
206	332,18	0,171	1,951	0,128	0,196	0,313	0,406	0,492	0,585	0,668
208	335,34	0,178	1,949	0,124	0,192	0,308	0,403	0,487	0,581	0,658
210	338,30	0,183	1,955	0,127	0,200	0,312	0,406	0,490	0,583	0,665
212	340,92	0,185	1,953	0,126	0,202	0,313	0,408	0,493	0,584	0,670
214	343,64	0,187	1,960	0,124	0,200	0,312	0,405	0,490	0,583	0,668
216	346,68	0,191	1,957	0,123	0,198	0,309	0,404	0,489	0,581	0,666
218	349,74	0,197	1,950	0,116	0,204	0,306	0,398	0,485	0,579	0,660
220	352,68	0,200	1,953	0,117	0,194	0,309	0,403	0,490	0,583	0,664
222	355,54	0,210	1,955	0,123	0,204	0,315	0,409	0,499	0,594	0,672
224	358,43	0,211	1,958	0,113	0,201	0,307	0,403	0,491	0,587	0,669
226	361,16	0,212	1,952	0,105	0,190	0,3[illegible]	0,400	0,491	0,585	0,664
228	363,64	0,218	1,952	0,104	0,197	0,307	0,405	0,492	0,585	0,671
230	366,26	0,227	1,955	0,100	0,194	0,310	0,406	0,494	0,592	0,662
232	368,90	0,226	1,951	0,084	0,194	0,306	0,402	0,488	0,587	0,661
233	370,26	0,232	1,955	0,061	0,198	*	*	0,497	*	0,664

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 150 ET 198.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,1307	0,2562	2,2214	0,1153	0,390	0,001135
2	0,203	0,2020	0,3959	2,3640	0,1675	0,513	0,000956
3	0,411	0,3112	0,6099	2,5824	0,2367	0,674	0,000782
4	0,618	0,4058	0,7954	2,7716	0,2870	0,777	0,000713
5	0,824	0,4908	0,9620	2,9418	0,3270	0,857	0,000668
6	1,030	0,5813	1,1394	3,1226	0,3649	0,904	0,000670
7	1,236	0,6645	1,3024	3,2890	0,3960	0,949	0,000659

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,539	0,394	0,731	0,485	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 184 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 168 et 205.
2	0,698	0,518	0,742	0,686	
3	0,919	0,676	0,736	0,875	
4	1,081	0,796	0,736	1,085	
5	1,137	0,858	0,755	1,164	
6	1,178	0,904	0,767	1,164	
7	1,186	0,949	0,800	1,197	

SÉRIE N° 16. (Voir p. 85-87, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX DE 0m,027 DE LARGEUR, ESPACÉS DE 0m,05.

Pente longitudinale du fond : 0m,0059 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,963 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur, espacés de 0m,05. — Direction et intensité du vent : temps calme pour les expériences n°s 2 et 7 ; vent de côté pour les autres. — Température de l'eau : 7°,5. — Dates des expériences : 4 et 6 décembre 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
59	100,00	0	1,955	0,098	0,152	0,233	0,310	0,369	0,426	0,482
60	101,59	»	1,966	0,093	0,135	0,212	0,266	0,333	0,392	0,445
61	103,15	0,018	1,966	0,089	0,126	0,199	0,262	0,326	0,385	0,420
62	104,74	»	1,954	0,092	0,133	0,204	0,267	0,321	0,374	0,411
63	106,04	0,036	1,962	0,096	0,136	0,205	0,270	0,329	0,366	0,421
64	107,34	»	1,959	0,083	0,129	0,196	0,261	0,317	0,362	0,420
65	108,70	0,049	1,950	0,085	0,129	0,193	0,264	0,313	0,358	0,404
66	110,00	»	1,961	0,086	0,134	0,204	0,262	0,311	0,363	0,414
67	111,34	0,069	1,963	0,085	0,129	0,200	0,267	0,317	0,362	0,418
68	112,65	»	1,960	0,078	0,131	0,199	0,261	0,318	0,356	0,414
69	113,99	0,081	1,963	0,079	0,130	0,198	0,257	0,312	0,364	0,418
70	115,34	»	1,967	0,087	0,130	0,202	0,262	0,319	0,372	0,424
71	116,68	0,104	1,965	0,086	0,132	0,203	0,264	0,321	0,372	0,421
72	118,34	»	1,958	0,085	0,129	0,197	0,265	0,322	0,370	0,416
73	120,00	0,127	1,965	0,091	0,138	0,206	0,272	0,327	0,379	0,428
74	121,71	»	1,958	0,089	0,131	0,203	0,267	0,322	0,372	0,427
75	123,66	0,147	1,952	0,086	0,129	0,202	0,262	0,313	0,368	0,420
76	125,66	»	1,961	0,086	0,126	0,200	0,261	0,313	0,367	0,421
77	127,04	0,168	1,961	0,088	0,132	0,199	0,265	0,317	0,374	0,425
78	128,34	»	1,966	0,084	0,129	0,201	0,266	0,320	0,367	0,414
79	129,71	0,183	1,961	0,088	0,131	0,197	0,266	0,319	0,361	0,419
80	131,71	»	1,959	0,089	0,133	0,204	0,271	0,321	0,366	0,425
81	133,65	0,207	1,955	0,083	0,133	0,202	0,262	0,321	0,368	0,418

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},236$.
82	135,65	"	1,958	0,082	0,131	0,198	0,262	0,319	0,365	0,419
83	137,65	0,231	1,967	0,094	0,133	0,203	0,265	0,318	0,368	0,421
84	138,89	"	1,966	0,089	0,130	0,203	0,263	0,319	0,369	0,422
85	140,03	0,243	1,964	0,086	0,135	0,202	0,264	0,319	0,370	0,420
86	141,70	"	1,955	0,090	0,134	0,207	0,268	0,320	0,371	0,419
87	143,36	0,269	1,967	0,092	0,136	0,210	0,273	0,321	0,370	0,421
88	145,04	"	1,964	0,089	0,135	0,206	0,265	0,319	0,366	0,415
89	146,69	0,288	1,976	0,091	0,136	0,205	0,264	0,321	0,365	0,419
90	148,37	"	1,965	0,084	0,127	0,195	0,257	0,311	0,361	0,414
91	150,00	0,301	1,965	0,080	0,127	0,192	0,254	0,308	0,362	0,409
92	151,56	"	1,964	0,085	0,130	0,204	0,260	0,312	0,371	0,414
93	153,25	0,325	1,967	0,089	0,137	0,210	0,273	0,322	0,377	0,424
94	154,90	"	1,970	0,093	0,141	0,213	0,276	0,327	0,383	0,429
95	156,50	0,344	1,967	0,087	0,133	0,203	0,266	0,321	0,371	0,423
96	158,14	"	1,970	0,083	0,130	0,205	0,262	0,314	0,367	0,418
97	160,00	0,363	1,961	0,087	0,130	0,202	0,265	0,318	0,368	0,424
98	162,10	"	1,960	0,088	0,132	0,205	0,266	0,324	0,368	0,419
99	164,10	0,392	1,966	0,089	0,135	0,207	0,269	0,324	0,375	0,426
100	166,10	"	1,963	0,090	0,138	0,210	0,272	0,332	0,378	0,408
101	168,02	0,415	1,965	0,093	0,141	0,217	0,274	0,329	0,380	0,428
102	170,09	"	1,966	0,085	0,132	0,201	0,265	0,315	0,375	0,416
103	171,79	0,436	1,966	0,091	0,136	0,209	0,268	0,323	0,378	0,424
104	173,44	"	1,964	0,081	0,124	0,195	0,259	0,307	0,364	0,412
105	175,16	0,448	1,963	0,084	0,129	0,196	0,259	0,313	0,365	0,415
106	176,72	"	1,965	0,087	0,135	0,201	0,261	0,315	0,377	0,417
107	178,22	0,473	1,962	0,090	0,135	0,200	0,267	0,319	0,369	0,409
108	180,00	"	1,961	0,085	0,125	0,196	0,263	0,310	0,364	0,405
109	181,92	0,495	1,969	0,084	0,130	0,203	0,261	0,315	0,363	0,410
110	183,82	"	1,967	0,092	0,139	0,216	0,278	0,327	0,377	0,421
111	185,52	0,521	1,969	0,093	0,141	0,212	0,273	0,326	0,374	0,423
112	186,92	"	1,969	0,092	0,138	0,211	0,271	0,320	0,376	0,420
113	188,22	0,528	1,959	0,088	0,135	0,211	0,268	0,317	0,369	0,413
114	189,67	"	1,972	0,091	0,137	0,210	0,262	0,314	0,363	0,410
115	191,13	0,545	1,970	0,086	0,133	0,201	0,257	0,308	0,354	0,405
116	192,61	"	1,964	0,083	0,127	0,194	0,256	0,301	0,351	0,400
117	194,26	0,565	1,968	0,090	0,133	0,198	0,258	0,302	0,350	0,391
118	195,97	"	1,975	0,076	0,123	0,187	0,246	0,288	0,332	0,376
119	197,23	0,581	1,970	0,073	0,110	0,173	0,224	0,272	0,318	0,364
120	198,53	"	1,974	0,070	0,106	0,167	0,217	0,269	0,309	0,362
121	200,00	0,604	1,975	0,042	0,078	0,153	0,222	0,269	0,327	0,378

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 73 ET 102.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0877	0,1721	2,1384	0,0805	0,581	0,001408
2	0,203	0,1328	0,2607	2,2286	0,1170	0,779	0,001138
3	0,411	0,2037	0,3999	2,3704	0,1687	1,028	0,000942
4	0,618	0,2658	0,5218	2,4946	0,2092	1,184	0,000880
5	0,824	0,3195	0,6272	2,6020	0,2410	1,314	0,000824
6	1,030	0,3701	0,7265	2,7032	0,2688	1,418	0,000789
7	1,236	0,4202	0,8248	2,8034	0,2942	1,498	0,000773

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,802	0,581	0,724	0,767	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 89 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 73 et 102.
2	1,063	0,779	0,733	1,029	
3	1,366	1,028	0,753	1,321	
4	1,646	1,184	0,720	1,603	
5	1,845	1,314	0,712	1,826	
6	1,952	1,418	0,726	1,961	
7	2,060	1,498	0,727	2,063	

SÉRIE N° 17. (Voir p. 85-87, pl. VII.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX DE $0^m,027$ DE LARGEUR, ESPACÉS DE $0^m,05$.

Pente longitudinale du fond : $0^m,00886$ par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de $1^m,951$ de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de $0^m,027$ de largeur, espacés de $0^m,05$. — Direction et intensité du vent : vent d'amont pour l'expérience n° 6 ; vent de côté pour les six autres ; assez violent pour l'expérience n° 2. — Température de l'eau : 11° pour l'expérience n° 1 ; 15° pour l'expérience n° 2 ; 16°,5 pour les cinq autres. — Dates des expériences : 11, 15, 17, 18, 20 et 21 mai 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 315 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL. EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},236$.
315	486,21	0	1,959	0,089	0,129	0,207	0,264	0,281	0,344	0,338
316	488,01	»	1,956	0,078	0,114	0,180	0,237	0,272	0,326	0,318
317	489,81	0,040	1,959	0,075	0,115	0,180	0,233	0,274	0,324	0,350
318	491,17	»	1,957	0,072	0,109	0,170	0,221	0,261	0,309	0,335
319	492,53	0,072	1,955	0,078	0,116	0,178	0,227	0,267	0,310	0,335
320	493,77	»	1,960	0,075	0,111	0,179	0,234	0,278	0,320	0,340
321	495,11	0,091	1,959	0,075	0,116	0,178	0,229	0,278	0,326	0,349
322	496,56	»	1,959	0,072	0,115	0,177	0,232	0,278	0,316	0,350
323	497,75	0,120	1,967	0,083	0,125	0,193	0,246	0,289	0,338	0,366
324	499,05	»	1,960	0,073	0,114	0,180	0,233	0,281	0,330	0,372
325	500,45	0,146	1,970	0,074	0,119	0,184	0,238	0,284	0,323	0,364
326	501,65	»	1,967	0,073	0,119	0,182	0,235	0,281	0,333	0,379
327	502,95	0,165	1,965	0,078	0,121	0,176	0,232	0,287	0,337	0,373
328	504,39	»	1,966	0,078	0,118	0,183	0,237	0,283	0,331	0,377
329	505,69	0,189	1,963	0,082	0,124	0,184	0,240	0,285	0,338	0,377
330	506,95	»	1,965	0,081	0,115	0,180	0,235	0,282	0,331	0,377
331	508,45	0,212	1,966	0,081	0,119	0,181	0,235	0,282	0,332	0,370

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 315 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 1mc,236.
332	509,85	"	1,961	0,081	0,122	0,185	0,237	0,285	0,330	0,377
333	511,35	0,242	1,953	0,074	0,114	0,181	0,234	0,280	0,331	0,371
334	513,15	"	1,963	0,085	0,127	0,196	0,250	0,301	0,345	0,389
335	514,75	0,271	1,953	0,080	0,126	0,193	0,248	0,289	0,336	0,377
336	516,05	"	1,959	0,077	0,124	0,189	0,237	0,288	0,340	0,380
337	517,45	0,290	1,955	0,065	0,113	0,177	0,230	0,277	0,321	0,358
338	518,69	"	1,957	0,072	0,115	0,178	0,233	0,281	0,329	0,363
339	520,19	0,324	1,958	0,080	0,125	0,185	0,242	0,290	0,335	0,377
340	522,05	"	1,965	0,076	0,122	0,187	0,238	0,282	0,331	0,369
341	523,61	0,353	1,957	0,080	0,127	0,189	0,239	0,285	0,348	0,388
342	524,93	"	1,963	0,083	0,125	0,193	0,247	0,300	0,342	0,380
343	526,29	0,380	1,959	0,078	0,120	0,184	0,241	0,290	0,337	0,380
344	527,53	"	1,950	0,073	0,123	0,186	0,244	0,290	0,332	0,368
345	528,63	0,396	1,953	0,085	0,132	0,195	0,248	0,297	0,340	0,384
346	529,83	"	1,970	0,080	0,123	0,188	0,239	0,284	0,336	0,375
347	531,49	0,409	1,951	0,068	0,115	0,174	0,225	0,277	0,320	0,360
348	533,15	"	1,948	0,065	0,106	0,164	0,212	0,258	0,296	0,333
349	534,81	0,453	1,953	0,065	0,108	0,164	0,218	0,263	0,308	0,345
350	536,21	"	1,955	0,080	0,128	0,189	0,247	0,291	0,334	0,381
351	537,57	0,480	1,950	0,084	0,122	0,194	0,250	0,295	0,340	0,386
352	538,83	"	1,946	0,079	0,119	0,187	0,240	0,290	0,334	0,380
353	540,17	0,496	1,955	0,072	0,117	0,181	0,234	0,282	0,325	0,370
354	541,51	"	1,942	0,077	0,118	0,189	0,241	0,289	0,336	0,381
355	542,81	0,522	1,933	0,074	0,118	0,179	0,233	0,282	0,326	0,368
356	544,15	"	1,932	0,073	0,115	0,175	0,230	0,272	0,313	0,360
357	545,49	0,543	1,947	0,072	0,110	0,178	0,232	0,285	0,329	0,370
358	546,79	"	1,937	0,076	0,118	0,189	0,242	0,291	0,342	0,380
359	548,25	0,569	1,926	0,073	0,117	0,187	0,240	0,292	0,341	0,381
360	549,79	"	1,948	0,080	0,126	0,193	0,249	0,300	0,347	0,388
361	551,43	0,595	1,943	0,078	0,121	0,191	0,246	0,292	0,340	0,386
362	553,43	"	1,947	0,082	0,127	0,198	0,257	0,303	0,348	0,383
363	555,29	0,625	1,944	0,081	0,126	0,195	0,256	0,305	0,353	0,397
364	557,13	"	1,935	0,080	0,124	0,191	0,246	0,295	0,352	0,389
365	558,93	0,649	1,938	0,079	0,123	0,191	0,252	0,296	0,351	0,396
366	560,69	"	1,922	0,088	0,134	0,198	0,262	0,296	0,354	0,397
367	562,13	0,678	1,920	0,084	0,131	0,200	0,256	0,302	0,343	0,390
568	564,29	"	1,922	0,080	0,122	0,195	0,240	0,297	0,346	0,387
369	566,13	0,704	1,920	0,080	0,119	0,185	0,238	0,283	0,325	0,361
370	567,89	"	1,926	0,076	0,112	0,180	0,228	0,275	0,312	0,351
371	569,73	0,724	1,955	0,047	0,071	0,123	0,165	0,202	0,234	0,270

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE
POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 332 ET 360.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0761	0,1485	2,1032	0,0706	0,673	0,001379
2	0,203	0,1198	0,2337	2,1906	0,1067	0,869	0,001253
3	0,411	0,1844	0,3598	2,3198	0,1551	1,142	0,001053
4	0,618	0,2379	0,4641	2,4268	0,1913	1,331	0,000956
5	0,824	0,2857	0,5574	2,5224	0,2210	1,478	0,000896
6	1,030	0,3319	0,6476	2,6148	0,2476	1,591	0,000867
7	1,236	0,3731	0,7279	2,6972	0,2699	1,698	0,000829

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,908	0,673	0,741	0,829	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 347 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 332 et 360.
2	1,171	0,869	0,742	1,189	
3	1,530	1,142	0,747	1,534	
4	1,751	1,331	0,760	1,766	
5	1,997	1,478	0,740	1,905	
6	2,206	1,591	0,721	2,174	
7	2,392	1,698	0,710	2,305	

OBSERVATION

COMMUNE AUX SÉRIES N°s 9 à 17.

Ces neuf séries d'expériences forment, en rapprochant, soit les pentes, soit les natures de paroi semblables, trois groupes parfaitement comparables, ainsi que le montre le tableau suivant.

NATURE DE LA PAROI.	NUMÉROS DES SÉRIES.		
	Pente de 0,0015.	Pente de 0,006.	Pente de 0,009.
Planches	9	10	11
Planches recouvertes de liteaux espacés de 0^m,01	12	13	14
Planches recouvertes de liteaux espacés de 0^m,05	15	16	17

L'épaisseur des liteaux cloués sur le fond pour les séries n°s 12 à 17 étant constante, le nivellement du fond est le même pour les trois séries comprises dans chaque colonne verticale du tableau ci-dessus.

L'écoulement présentait, sur les pentes de 0^m,0015 et 0^m,006 par mètre, quelques circonstances qui méritent d'être signalées :

Pente de 0^m,0015 par mètre. Séries n°s 9, 12 et 15. — La chute qui existait au fond de la rigole au profil n° 233 (voir planche VII) aurait considérablement abaissé le niveau du courant en amont, et l'on n'aurait pu obtenir de régime uniforme, si, pour remédier à cet inconvénient, on n'avait établi, à 80 mètres plus bas, des barrages de hauteur variable suivant le débit. Grâce à ces barrages, l'abaissement en amont de la chute était très-faible : immédiatement après la chute, le niveau du courant, en raison de l'approfondissement subit du lit, se relevait un peu en formant un léger ressaut, et restait ensuite presque horizontal jusqu'au barrage.

Pente de 0^m,006 par mètre. Séries n°s 10, 13 et 16. — La série n° 10 a été exécutée en même temps que la série n° 9 : aussi le remou résultant du changement de pente se prolongeait-il dans la partie inférieure de la pente de 0^m,006, en y formant un ressaut bien accusé (voir série n° 93). La série n° 13 a de même été exécutée en même temps que la série n° 21 (voir ci-après, canal trapézoïdal en planches); le remou se prolongeait plus loin encore en formant une contre-pente allongée (voir les tableaux de la série n° 13). Quant à la série n° 16, si l'on eût voulu l'exécuter en même temps que la série n° 15, le remou eût couvert toute l'étendue de la pente de 0^m,006 : il a fallu, pour obtenir un régime uniforme, faciliter l'écoulement par l'aval en enlevant les liteaux qui recouvraient la pente de 0^m,0015.

SÉRIE N° 18. (Voir p. 92-93, pl. X.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : $0^m,0049$ par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de $1^m,197$ de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : temps calme. — Température de l'eau : 8°. — Dates des expériences : 23, 24, 25 et 27 février 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 79 étant pris pour point de départ.)	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},307$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},515$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde $0^{mc},927$.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde $1^{mc},133$.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde $1^{mc},236$.
79	129,71	0[1]	1,198	0,109	0,167	0,238	0,287	0,336	0,378	0,412	0,458	0,503	0,552	0,583	0,615
80	131,71	»	1,210	0,109	0,173	0,227	0,275	0,308	0,317	0,336	0,359	0,375	0,415	0,426	0,452
81	133,65	»	1,203	0,113	0,157	0,207	0,212	0,243	0,286	0,323	0,350	0,375	0,409	0,423	0,451
82	135,65	»	1,206	0,073	0,120	0,169	0,188	0,244	0,282	0,318	0,348	0,372	0,396	0,420	0,441
83	137,65	»	1,206	0,067	0,119	0,162	0,199	0,237	0,261	0,301	0,331	0,353	0,380	0,409	0,435
84	138,89	»	1,209	0,068	0,112	0,150	0,193	0,222	0,255	0,257	0,321	0,352	0,377	0,401	0,421
85	140,03	0,049	1,207	0,068	0,114	0,157	0,196	0,228	0,263	0,295	0,328	0,361	0,377	0,415	0,437
86	141,70	»	1,202	0,080	0,119	0,162	0,196	0,232	0,270	0,302	0,337	0,362	0,393	0,414	0,448
87	143,36	»	1,198	0,107	0,166	0,220	0,212	0,246	0,280	0,319	0,353	0,388	0,403	0,441	0,466
88	145,04	»	1,200	0,079	0,132	0,173	0,223	0,256	0,290	0,329	0,364	0,394	0,416	0,446	0,474
89	146,69	»	1,208	0,071	0,120	0,164	0,206	0,233	0,272	0,301	0,329	0,359	0,391	0,415	0,448
90	148,37	»	1,201	0,072	0,120	0,157	0,199	0,228	0,264	0,291	0,330	0,357	0,385	0,406	0,436

[1] Le nivellement du fond est emprunté à la série n° 7.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 79 étant pris pour point de départ.)	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
91	150,00	0,092	1,211	0,075	0,125	0,163	0,205	0,234	0,272	0,304	0,336	0,364	0,389	0,411	0,447
92	151,56	"	1,214	0,075	0,122	0,160	0,199	0,235	0,260	0,300	0,329	0,351	0,387	0,404	0,435
93	153,25	"	1,205	0,105	0,127	0,168	0,206	0,239	0,273	0,311	0,333	0,356	0,394	0,419	0,445
94	154,90	"	1,205	0,082	0,129	0,169	0,208	0,246	0,281	0,311	0,338	0,368	0,396	0,421	0,444
95	156,50	"	1,208	0,074	0,122	0,162	0,201	0,232	0,266	0,296	0,323	0,348	0,385	0,409	0,432
96	158,14	"	1,205	0,074	0,124	0,165	0,202	0,236	0,267	0,301	0,328	0,359	0,384	0,405	0,434
97	160,00	0,141	1,194	0,072	0,118	0,164	0,195	0,241	0,268	0,302	0,330	0,355	0,388	0,413	0,441
98	162,10	"	1,195	0,111	0,125	0,172	0,208	0,241	0,279	0,310	0,336	0,367	0,396	0,421	0,457
99	164,10	"	1,199	0,074	0,123	0,162	0,200	0,237	0,266	0,299	0,326	0,361	0,392	0,419	0,444
100	166,10	"	1,192	0,076	0,126	0,168	0,203	0,243	0,273	0,308	0,337	0,370	0,396	0,417	0,453
101	168,02	"	1,188	0,102	0,118	0,156	0,197	0,234	0,266	0,303	0,326	0,361	0,393	0,420	0,450
102	170,09	0,187	1,172	0,091	0,139	0,176	0,215	0,246	0,281	0,316	0,345	0,378	0,405	0,436	0,461
103	171,79	"	1,179	0,071	0,120	0,159	0,196	0,227	0,262	0,294	0,325	0,350	0,382	0,416	0,439
104	173,44	"	1,173	0,074	0,123	0,165	0,200	0,239	0,270	0,300	0,335	0,362	0,393	0,420	0,447
105	175,16	"	1,187	0,079	0,128	0,166	0,202	0,238	0,270	0,301	0,330	0,357	0,398	0,419	0,446
106	176,72	"	1,188	0,078	0,125	0,162	0,201	0,235	0,265	0,297	0,328	0,358	0,383	0,413	0,437
107	178,22	"	1,190	0,076	0,125	0,165	0,198	0,229	0,269	0,295	0,325	0,356	0,380	0,404	0,433
108	180,00	0,242	1,198	0,105	0,118	0,163	0,197	0,231	0,262	0,287	0,318	0,347	0,379	0,405	0,425
109	181,92	"	1,207	0,067	0,115	0,153	0,188	0,222	0,254	0,280	0,313	0,340	0,367	0,403	0,421
110	183,22	"	1,205	0,070	0,117	0,162	0,193	0,224	0,254	0,281	0,314	0,340	0,367	0,393	0,419
111	185,52	"	1,210	0,068	0,113	0,152	0,183	0,212	0,246	0,277	0,301	0,331	0,356	0,390	0,411
112	186,92	"	1,209	0,047	0,096	0,130	0,164	0,195	0,225	0,254	0,280	0,309	0,334	0,370	0,390
113	188,22	"	1,199	0,075	0,120	0,161	0,192	0,221	0,255	0,281	0,314	0,338	0,363	0,392	0,417
114	189,67	0,291	1,206	0,100	0,119	0,158	0,199	0,226	0,257	0,288	0,316	0,342	0,370	0,394	0,413
115	191,13	"	1,202	0,108	0,140	0,172	0,204	0,235	0,270	0,296	0,328	0,356	0,387	0,410	0,438
116	192,61	"	1,200	0,109	0,174	0,218	0,214	0,245	0,280	0,311	0,335	0,368	0,397	0,415	0,448
117	194,26	"	1,205	0,047	0,096	0,137	0,177	0,213	0,250	0,275	0,305	0,338	0,364	0,393	0,419
118	195,97	"	1,208	0,052	0,126	0,172	0,211	0,244	0,282	0,309	0,326	0,363	0,384	0,418	0,443
119	197,23	"	1,204	0,076	0,118	0,168	0,207	0,238	0,271	0,297	0,325	0,356	0,385	0,408	0,435
120	198,53	"	1,206	0,075	0,121	0,159	0,197	0,230	0,260	0,290	0,319	0,343	0,368	0,398	0,426
121	200,00	0,342	1,198	0,106	0,141	0,194	0,203	0,236	0,264	0,284	0,324	0,352	0,350	0,408	0,437

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 85 ET 106.

[B]

NUMÉROS des expériences	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0814	0,0974	1,3598	0,0717	1,026	0,000333
2	0,203	0,1257	0,1505	1,4484	0,1039	1,349	0,000280
3	0,307	0,1668	0,1997	1,5306	0,1304	1,538	0,000270
4	0,411	0,2032	0,2432	1,6034	0,1517	1,690	0,000260
5	0,515	0,2375	0,2843	1,6720	0,1700	1,811	0,000254
6	0,618	0,2708	0,3241	1,7386	0,1864	1,907	0,000251
7	0,721	0,3041	0,3640	1,8052	0,2016	1,981	0,000252
8	0,824	0,3339	0,3997	1,8648	0,2143	2,062	0,000247
9	0,927	0,3630	0,4345	1,9230	0,2259	2,133	0,000243
10	1,030	0,3921	0,4693	1,9812	0,2369	2,195	0,000241
11	1,133	0,4182	0,5006	2,0334	0,2462	2,263	0,000235
12	1,236	0,4464	0,5343	2,0898	0,2557	2,313	0,000234

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,363	1,008	0,740	1,358	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 91 et 108 ; à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 102.
2	1,810	1,367	0,755	1,693	
3	2,027	1,560	0,769	1,932	
4	2,128	1,704	0,801	2,110	
5	2,201	1,820	0,827	2,251	
6	2,301	1,920	0,834	2,329	
7	2,391	1,998	0,836	2,454	
8	2,489	2,087	0,838	2,560	
9	2,530	2,159	0,853	2,613	
10	2,617	2,207	0,843	2,708	
11	2,810	2,284	0,813	2,715	
12	2,834	2,336	0,824	2,864	

SÉRIE N° 19. (Voir p. 92-94, pl. X.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0043 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 0m,800 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté assez fort pour les expériences nos 2, 3, 6 et 7; temps calme pour les autres. — Température de l'eau : 10°,5 pour les expériences nos 4, 5 et 10; 6° pour les autres. — Dates des expériences : 2, 6, 10, 11, 12 et 18 mars 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 79 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.										
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,054.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,155.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,259.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,363.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 0mc,721.
79	129,71	0	0,800	0,082	0,148	0,192	0,240	0,276	0,317	0,349	0,383	0,445	0,497	0,534
80	131,71	0,007	"	0,099	0,154	0,167	0,208	0,258	0,285	0,285	0,322	0,373	0,421	0,461
81	133,65	0,012	"	0,069	0,120	0,147	0,174	0,207	0,234	0,274	0,305	0,327	0,383	0,432
82	135,65	0,027	"	0,061	0,098	0,133	0,171	0,196	0,228	0,252	0,289	0,329	0,371	0,408
83	137,65	0,037	"	0,056	0,105	0,126	0,170	0,198	0,226	0,260	0,297	0,355	0,407	0,422
84	138,89	0,044	"	0,074	0,110	0,140	0,174	0,213	0,253	0,301	0,337	0,388	0,442	0,451
85	140,03	0,045	0,800	0,080	0,142	0,164	0,214	0,240	0,274	0,295	0,334	0,388	0,446	0,484
86	141,70	0,049	"	0,091	0,137	0,183	0,206	0,246	0,281	0,310	0,341	0,394	0,436	0,457
87	143,36	0,051	"	0,064	0,107	0,139	0,176	0,201	0,238	0,262	0,287	0,338	0,393	0,444
88	145,04	0,061	"	0,074	0,106	0,144	0,163	0,199	0,228	0,252	0,268	0,326	0,357	0,410
89	146,69	0,068	"	0,065	0,108	0,131	0,177	0,199	0,230	0,247	0,276	0,315	0,363	0,399
90	148,37	0,072	"	0,079	0,125	0,157	0,182	0,209	0,244	0,270	0,292	0,345	0,386	0,432

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 79 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.										
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,054.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,155.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,259.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,363.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 0mc,721.
91	150,00	0,078	»	0,081	0,126	0,166	0,187	0,220	0,248	0,273	0,297	0,354	0,403	0,443
92	151,56	0,084	»	0,070	0,112	0,146	0,178	0,208	0,240	0,268	0,296	0,341	0,394	0,433
93	153,25	0,093	»	0,083	0,120	0,158	0,182	0,221	0,246	0,277	0,297	0,354	0,394	0,440
94	154,90	0,103	»	0,069	0,105	0,143	0,171	0,202	0,232	0,254	0,281	0,331	0,371	0,422
95	156,50	0,112	»	0,069	0,105	0,136	0,170	0,200	0,226	0,264	0,286	0,359	0,401	0,448
96	158,14	0,116	»	0,092	0,130	0,158	0,182	0,235	0,244	0,296	0,308	0,369	0,433	0,484
97	160,00	0,125	»	0,089	0,130	0,173	0,197	0,235	0,264	0,306	0,327	0,391	0,424	0,467
98	162,10	0,134	»	0,076	0,105	0,143	0,172	0,204	0,233	0,255	0,283	0,334	0,388	0,438
99	164,10	0,143	»	0,073	0,110	0,149	0,179	0,208	0,236	0,269	0,293	0,344	0,392	0,449
100	166,10	0,154	»	0,065	0,106	0,144	0,172	0,206	0,237	0,263	0,291	0,347	0,396	0,459
101	168,02	0,166	»	0,077	0,111	0,147	0,174	0,206	0,235	0,259	0,293	0,344	0,391	0,440
102	170,09	0,174	»	0,076	0,105	0,139	0,170	0,207	0,232	0.258	0,281	0,331	0,389	0,467
103	171,79	0,184	»	0,088	0,107	0,146	0,173	0,208	0,231	0,261	0,288	0,349	0,431	0,491
104	173,44	0,195	»	0,082	0,144	0,182	0,199	0,241	0,271	0,306	0,326	0,389	0,440	0,505
105	175,16	0,198	»	0,081	0,130	0,162	0,196	0,223	0,249	0,289	0,310	0,383	0,444	0,496
106	176,72	0,206	»	0,074	0,112	0,151	0,178	0,212	0,247	0,276	0,305	0,357	0,407	0,463
107	178,22	0,210	»	0,085	0,122	0,162	0,199	0,238	0,270	0,302	0,332	0,394	0,452	0,505
108	180,00	0,215	»	0,079	0,123	0,156	0,199	0,223	0,261	0,292	0,317	0,364	0,415	0,465
109	181,92	0,224	0,800	0,082	0,123	0,161	0,187	0,216	0,247	0,280	0,309	0,368	0,428	0,474
110	183,82	0,234	»	0,062	0,105	0,138	0,174	0,202	0,232	0,255	0,282	0,333	0,378	0,425
111	185,52	0,245	»	0,073	0,109	0,147	0,181	0,206	0,234	0,259	0,283	0,329	0,383	0,429
112	186,92	0,254	»	0,067	0,100	0,136	0,169	0,195	0,225	0,248	0,273	0,321	0,371	0,424
113	188,22	0,260	»	0,070	0,105	0,145	0,174	0,207	0,231	0,254	0,279	0,339	0,382	0,435
114	189,67	0,265	»	0,077	0,115	0,154	0,181	0,213	0,241	0,268	0,280	0,344	0,393	0,445
115	191,13	0,275	»	0,088	0,119	0,157	0,180	0,212	0,240	0,271	0,287	0,353	0,402	0,457
116	192,61	0,278	»	0,087	0,135	0,178	0,203	0,230	0,275	0,300	0,342	0,387	0,445	0,489
117	194,26	0,285	»	0,078	0,124	0,151	0,184	0,219	0,251	0,285	0,317	0,360	0,402	0,451
118	195,97	0,294	»	0,072	0,109	0,142	0,173	0,204	0,232	0,263	0,285	0,335	0,384	0,438
119	197,23	0,301	»	0,066	0,103	0,139	0,170	0,199	0,223	0,255	0,277	0,327	0,372	0,418
120	198,53	0,311	»	0,071	0,107	0,142	0,171	0,199	0,232	0,257	0,282	0,336	0,379	0,423
121	200,00	0,319	0,800	0,066	0,102	0,135	0,164	0,192	0,220	0,243	0,266	0,311	0,357	0,397

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 85 ET 109.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,054	0,0778	0,0622	0,9556	0,0651	0,868	0,000372
2	0,100	0,1180	0,0944	1,0360	0,0911	1,059	0,000349
3	0,155	0,1536	0,1229	1,1072	0,1110	1,261	0,000300
4	0,203	0,1833	0,1466	1,1666	0,1257	1,384	0,000282
5	0,259	0,2163	0,1730	1,2326	0,1404	1,497	0,000269
6	0,307	0,2458	0,1966	1,2916	0,1522	1,561	0,000269
7	0,363	0,2754	0,2203	1,3508	0,1631	1,648	0,000258
8	0,411	0,3007	0,2406	1,4014	0,1717	1,708	0,000253
9	0,515	0,3564	0,2851	1,5128	0,1885	1,806	0,000248
10	0,618	0,4070	0,3256	1,6140	0,2017	1,898	0,000241
11	0,721	0,4566	0,3653	1,7132	0,2132	1,974	0,000235

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,076	0,869	0,808	1,072	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 104 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 85 et 108.
2	1,360	1,062	0,781	1,428	
3	1,551	1,264	0,815	1,596	
4	1,702	1,385	0,814	1,812	
5	1,825	1,497	0,820	1,916	
6	1,859	1,561	0,840	1,960	
7	1,946	1,648	0,847	2,030	
8	2,042	1,710	0,837	2,078	
9	2,124	1,809	0,852	2,203	
10	2,226	1,902	0,854	2,340	
11	2,310	1,977	0,856	2,343	

SÉRIE N° 20. (Voir p. 92-94, pl. X.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,006 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 0m,48 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent d'aval pour les expériences nos 1 et 2; temps calme pour les autres. — Température de l'eau : 15°,5 pour les expériences nos 1 et 2; 13° pour les autres. — Dates des expériences : 23, 26, 27 et 29 avril 1859.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 76 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m3,054.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m3,078.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m3,093.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m3,100.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m3,129.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m3,155.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m3,179.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m3,203.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m3,233.
76	125,66	0	0,480	0,083	0,115	0,136	0,132	0,158	0,182	0,204	0,219	0,243
77	127,04	»	»	0,089	0,130	0,134	0,141	0,160	0,191	0,212	0,232	0,250
78	128,34	0,016	»	0,089	0,126	0,139	0,151	0,179	0,194	0,212	0,233	0,257
79	129,71	»	»	0,093	0,129	0,138	0,142	0,165	0,192	0,213	0,231	0,256
80	131,71	0,036	»	0,092	0,121	0,140	0,147	0,175	0,206	0,228	0,239	0,266
81	133,65	»	»	0,102	0,125	0,145	0,151	0,182	0,195	0,227	0,250	0,276
82	135,65	0,059	»	0,093	0,124	0,145	0,151	0,178	0,205	0,225	0,250	0,274
83	137,65	»	»	0,104	0,127	0,145	0,154	0,180	0,208	0,230	0,254	0,276
84	138,89	0,079	»	0,104	0,131	0,155	0,160	0,188	0,215	0,243	0,271	0,306
85	140,03	»	»	0,106	0,140	0,157	0,166	0,199	0,224	0,249	0,277	0,314
66	141,70	0,095	»	0,110	0,139	0,157	0,166	0,199	0,228	0,253	0,279	0,314
87	143,36	»	0,480	0,105	0,137	0,157	0,169	0,202	0,227	0,253	0,277	0,309
88	145,04	0,116	»	0,103	0,132	0,151	0,163	0,190	0,218	0,241	0,266	0,297
89	146,69	»	»	0,105	0,136	0,147	0,158	0,189	0,221	0,241	0,266	0,291
90	148,37	0,137	»	0,099	0,128	0,147	0,160	0,181	0,208	0,231	0,253	0,282
91	150,00	»	»	0,095	0,126	0,138	0,146	0,179	0,197	0,222	0,246	0,268
92	151,56	0,155	»	0,102	0,129	0,149	0,154	0,183	0,212	0,241	0,269	0,302
93	153,25	»	»	0,103	0,133	0,153	0,163	0,188	0,216	0,240	0,265	0,287
94	154,90	0,175	»	0,100	0,130	0,149	0,159	0,187	0,212	0,238	0,265	0,291
95	156,50	»	»	0,100	0,130	0,149	0,158	0,185	0,210	0,245	0,260	0,281
96	158,14	0,194	»	0,112	0,138	0,156	0,167	0,192	0,214	0,237	0,262	0,288
97	160,00	»	»	0,101	0,130	0,148	0,158	0,188	0,210	0,229	0,257	0,279
98	162,10	0,228	»	0,103	0,128	0,147	0,153	0,182	0,208	0,231	0,262	0,291
99	164,10	»	»	0,111	0,144	0,161	0,177	0,204	0,230	0,255	0,277	0,305
100	166,10	0,242	»	0,116	0,153	0,172	0,180	0,203	0,228	0,257	0,281	0,307
101	168,02	»	»	0,097	0,127	0,145	0,157	0,181	0,206	0,230	0,254	0,275
102	170,09	0,266	0,480	0,094	0,121	0,139	0,151	0,178	0,192	0,216	0,234	0,260

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 87 ET 101.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,054	0,1035	0,0497	0,6870	0,0723	1,087	0,000367
2	0,078	0,1334	0,0640	0,7468	0,0857	1,218	0,000347
3	0,093	0,1513	0,0726	0,7826	0,0928	1,281	0,000339
4	0,100	0,1615	0,0775	0,8030	0,0965	1,290	0,000348
5	0,129	0,1889	0,0907	0,8578	0,1057	1,423	0,000313
6	0,155	0,2145	0,1030	0,9090	0,1133	1,505	0,000300
7	0,179	0,2394	0,1149	0,9588	0,1198	1,558	0,000296
8	0,203	0,2640	0,1267	1,0080	0,1257	1,602	0,000294
9	0,233	0,2902	0,1393	1,0604	0,1314	1,673	0,000282

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,417	1,084	0,765	1,365	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 89 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 85 et 99.
2	1,549	1,219	0,787	1,534	
3	1,615	1,282	0,794	1,621	
4	1,657	1,294	0,781	1,634	
5	1,724	1,416	0,821	1,698	
6	1,793	1,497	0,835	1,783	
7	1,851	1,551	0,838	1,821	
8	1,904	1,592	0,836	1,884	
9	1,947	1,655	0,850	1,910	

SÉRIE N° 21. (Voir p. 93-95, pl. X.)

CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : $0^m,0015$ par mètre. — Figure de la section transversale : trapèze de 1 mètre de largeur au fond, avec talus inclinés de part et d'autre, à 45°. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : temps calme, pour les expériences n°s 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 et 11 ; vent violent, venant tantôt de côté, tantôt de l'amont, pour les expériences n°s 1, 2, 3 et 12. — Température de l'eau : 5°,5 pour les expériences n°s 1 à 7, et 7° pour les cinq dernières. — Dates des expériences : 5, 6, 7 et 8 janvier 1859.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},307$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},515$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde $0^{mc},927$.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde $1^{mc},133$.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde $1^{m},236$.
134	220,00	0	0,137	0,212	0,267	0,323	0,357	0,386	0,444	0,479	0,506	0,538	0,565	0,593
136	222,72	0,002	0,117	0,193	0,241	0,276	0,302	0,375	0,425	0,442	0,450	0,462	0,478	0,501
138	225,49	0,006	0,105	0,180	0,232	0,270	0,325	0,343	0,375	0,419	0,432	0,463	0,480	0,550
140	228,39	0,011	0,117	0,184	0,228	0,288	0,328	0,358	0,387	0,425	0,449	0,494	0,518	0,529
142	231,17	0,018	0,125	0,191	0,241	0,292	0,328	0,372	0,408	0,433	0,471	0,494	0,510	0,551
144	234,15	0,023	0,123	0,194	0,246	0,296	0,333	0,370	0,404	0,437	0,470	0,493	0,524	0,554
146	236,99	0,026	0,120	0,189	0,236	0,287	0,329	0,363	0,399	0,429	0,461	0,483	0,511	0,533
148	239,63	0,033	0,124	0,192	0,246	0,291	0,330	0,368	0,400	0,434	0,459	0,484	0,510	0,548
150	242,33	0,040	0,128	0,195	0,244	0,293	0,332	0,372	0,403	0,433	0,461	0,493	0,516	0,543
152	244,95	0,040	0,119	0,191	0,240	0,288	0,329	0,369	0,400	0,428	0,455	0,487	0,514	0,542
154	248,05	0,046	0,122	0,192	0,243	0,291	0,332	0,368	0,404	0,433	0,464	0,494	0,516	0,543
156	250,99	0,050	0,123	0,191	0,244	0,292	0,330	0,368	0,405	0,432	0,461	0,491	0,517	0,547
158	253,61	0,057	0,130	0,200	0,250	0,298	0,337	0,378	0,410	0,439	0,470	0,501	0,522	0,553
160	257,01	0,056	0,127	0,193	0,244	0,290	0,334	0,368	0,407	0,434	0,466	0,489	0,519	0,551
162	260,09	0,062	0,118	0,197	0,247	0,294	0,337	0,373	0,410	0,433	0,469	0,493	0,522	0,548
164	263,43	0,064	0,124	0,191	0,242	0,285	0,330	0,372	0,403	0,433	0,461	0,489	0,517	0,543
166	267,07	0,068	0,119	0,184	0,239	0,287	0,327	0,363	0,399	0,429	0,456	0,483	0,511	0,540
167	269,15	»	0,124	0,192	0,240	0,291	0,332	0,367	0,406	0,430	0,461	0,485	0,516	0,541
168	270,70	0,079	0,125	0,198	0,249	0,301	0,341	0,375	0,408	0,444	0,477	0,499	0,525	0,554
169	272,20	»	0,127	0,196	0,247	0,297	0,335	0,372	0,408	0,437	0,471	0,495	0,521	0,548
170	273,80	0,083	0,126	0,194	0,245	0,291	0,332	0,368	0,401	0,432	0,467	0,492	0,517	0,546
171	275,36	»	0,125	0,188	0,241	0,286	0,329	0,368	0,401	0,429	0,462	0,490	0,514	0,543
172	276,96	0,085	0,124	0,191	0,242	0,291	0,331	0,370	0,406	0,431	0,462	0,491	0,517	0,545
173	278,46	»	0,125	0,192	0,242	0,290	0,330	0,368	0,404	0,427	0,466	0,486	0,514	0,539
174	279,90	0,089	0,125	0,191	0,243	0,289	0,330	0,367	0,405	0,425	0,464	0,489	0,516	0,542
175	281,90	»	0,122	0,188	0,241	0,287	0,328	0,366	0,399	0,428	0,457	0,489	0,512	0,540
176	283,78	0,091	0,110	0,174	0,228	0,274	0,311	0,353	0,389	0,418	0,443	0,478	0,499	0,523

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ.)	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.
177	285,58	»	0,118	0,185	0,239	0,284	0,323	0,360	0,396	0,425	0,455	0,487	0,513	0,537
178	287,40	0,102	0,117	0,183	0,234	0,279	0,317	0,358	0,391	0,420	0,447	0,477	0,506	0,531
179	289,34	»	0,114	0,181	0,232	0,281	0,321	0,362	0,393	0,419	0,450	0,477	0,505	0,533
180	291,28	0,105	0,115	0,186	0,234	0,285	0,322	0,362	0,396	0,426	0,451	0,479	0,509	0,539
181	292,70	»	0,122	0,192	0,243	0,288	0,329	0,370	0,405	0,429	0,461	0,496	0,524	0,548
182	294,00	0,114	0,123	0,193	0,246	0,289	0,330	0,373	0,403	0,430	0,461	0,495	0,513	0,536
183	295,50	»	0,121	0,192	0,243	0,291	0,332	0,367	0,402	0,427	0,462	0,488	0,508	0,536
184	297,04	0,118	0,125	0,196	0,249	0,295	0,332	0,372	0,405	0,431	0,464	0,497	0,510	0,537
185	298,24	»	0,128	0,192	0,246	0,292	0,333	0,371	0,396	0,434	0,467	0,491	0,516	0,548
186	300,20	0,122	0,128	0,195	0,241	0,291	0,331	0,373	0,403	0,438	0,461	0,491	0,519	0,544
187	302,26	»	0,123	0,192	0,242	0,287	0,328	0,367	0,398	0,430	0,460	0,491	0,515	0,545
188	304,24	0,129	0,127	0,194	0,246	0,291	0,333	0,373	0,405	0,433	0,462	0,493	0,517	0,544
189	306,12	»	0,121	0,191	0,239	0,289	0,331	0,368	0,402	0,436	0,461	0,488	0,515	0,537
190	307,79	0,134	0,120	0,195	0,241	0,289	0,330	0,369	0,398	0,430	0,459	0,483	0,513	0,531
191	309,49	»	0,119	0,190	0,241	0,290	0,328	0,369	0,403	0,430	0,459	0,484	0,514	0,532
192	311,07	0,138	0,120	0,189	0,241	0,290	0,329	0,369	0,401	0,429	0,462	0,484	0,514	0,543
193	312,26	»	0,124	0,196	0,244	0,292	0,332	0,371	0,407	0,433	0,462	0,493	0,520	0,544
194	313,72	0,142	0,122	0,195	0,241	0,291	0,329	0,366	0,404	0,433	0,456	0,488	0,516	0,536
195	315,28	»	0,121	0,189	0,244	0,291	0,333	0,366	0,400	0,430	0,459	0,491	0,517	0,534
196	316,96	0,149	0,126	0,199	0,249	0,295	0,341	0,373	0,407	0,440	0,471	0,497	0,525	0,550
197	318,72	»	0,118	0,194	0,250	0,291	0,337	0,373	0,406	0,436	0,470	0,495	0,526	0,542
198	320,00	0,154	0,122	0,191	0,242	0,289	0,330	0,368	0,401	0,430	0,461	0,489	0,515	0,540
199	322,09	»	0,117	0,188	0,236	0,283	0,324	0,361	0,393	0,420	0,449	0,475	0,498	0,522
200	323,65	0,156	0,120	0,192	0,245	0,288	0,325	0,366	0,400	0,425	0,454	0,483	0,511	0,534
202	326,40	0,163	0,122	0,192	0,242	0,287	0,326	0,365	0,394	0,424	0,454	0,484	0,508	0,527
204	329,44	0,167	0,123	0,192	0,244	0,289	0,328	0,367	0,397	0,426	0,455	0,482	0,504	0,530
206	332,18	0,171	0,121	0,194	0,242	0,278	0,325	0,362	0,397	0,425	0,455	0,482	0,512	0,533
208	335,34	0,178	0,116	0,183	0,233	0,280	0,320	0,361	0,392	0,417	0,448	0,474	0,498	0,523
210	338,30	0,183	0,124	0,193	0,246	0,289	0,328	0,363	0,395	0,424	0,452	0,482	0,504	0,531
212	340,92	0,185	0,127	0,193	0,244	0,286	0,328	0,361	0,394	0,424	0,460	0,483	0,509	0,529
214	343,64	0,187	0,126	0,193	0,241	0,283	0,326	0,365	0,395	0,419	0,453	0,478	0,503	0,527
216	346,68	0,191	0,124	0,187	0,238	0,279	0,322	0,359	0,393	0,420	0,441	0,471	0,500	0,521
218	349,74	0,197	0,119	0,182	0,231	0,275	0,309	0,345	0,378	0,404	0,432	0,459	0,484	0,509
220	352,68	0,200	0,118	0,181	0,229	0,266	0,307	0,343	0,375	0,403	0,431	0,461	0,483	0,508
222	355,54	0,210	0,122	0,184	0,235	0,284	0,318	0,348	0,390	0,414	0,438	0,452	0,488	0,503
224	358,43	0,211	0,117	0,177	0,224	0,269	0,309	0,344	0,377	0,402	0,432	0,457	0,481	0,506
226	361,16	0,212	0,104	0,166	0,209	0,254	0,291	0,325	0,354	0,382	0,409	0,433	0,464	0,481
228	363,64	0,218	0,107	0,170	0,220	0,267	0,299	0,331	0,361	0,392	0,417	0,443	0,463	0,471
230	366,26	0,227	0,117	0,178	0,221	0,268	0,298	0,337	0,365	0,392	0,420	0,445	0,471	0,481
232	368,90	0,226	0,105	0,158	0,199	0,239	0,269	0,301	0,336	0,362	0,380	0,410	0,440	0,451
233	370,26	0,232	0,093	0,134	0,172	0,214	0,244	0,271	0,306	0,327	0,355	0,380	0,405	0,418

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 167 ET 198.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,1221	0,1370	1,3454	0,1018	0,730	0,000287
2	0,203	0,1911	0,2276	1,5404	0,1477	0,892	0,000279
3	0,307	0,2420	0,3006	1,6844	0,1785	1,021	0,000257
4	0,411	0,2893	0,3730	1,8182	0,2052	1,102	0,000253
5	0,515	0,3297	0,4384	1,9326	0,2268	1,175	0,000247
6	0,618	0,3679	0,5032	2,0406	0,2466	1,228	0,000245
7	0,721	0,4015	0,5627	2,1356	0,2635	1,281	0,000241
8	0,824	0,4303	0,6155	2,2170	0,2776	1,339	0,000232
9	0,927	0,4610	0,6735	2,3038	0,2923	1,376	0,000231
10	1,030	0,4890	0,7281	2,3830	0,3055	1,415	0,000229
11	1,133	0,5150	0,7802	2,4442	0,3192	1,452	0,000227
12	1,236	0,5403	0,8322	2,4948	0,3343	1,485	0,000227

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,904	0,730	0,807	0,897	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 184 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 167 et 198.
2	1,110	0,892	0,803	1,094	
3	1,225	1,021	0,834	1,213	
4	1,328	1,102	0,830	1,314	
5	1,433	1,175	0,820	1,407	
6	1,461	1,228	0,840	1,462	
7	1,540	1,281	0,832	1,528	
8	1,607	1,339	0,833	1,615	
9	1,647	1,376	0,836	1,651	
10	1,720	1,415	0,822	1,710	
11	1,772	1,452	0,820	1,777	
12	1,800	1,485	0,825	1,805	

SÉRIE N° 22. (Voir p. 93-95, pl. X.)

CANAL TRAPÉZOÏDAL EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : trapèze de 0m,945 de largeur au fond ; l'une des parois latérales inclinée à 45° et l'autre verticale. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté se rapprochant un peu de l'amont pour les expériences n°s 5, 6, 7 et 8. — Température de l'eau : 24°,5. — Dates des expériences : 23 et 24 juillet 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m3,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m3,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m3,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m3,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m3,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m3,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m3,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m3,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m3,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m3,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m3,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m3,236.
59	100,00	0 [1]	0,133	0,210	0,284	0,342	0,380	0,461	0,472	0,521	0,550	0,593	0,635	0,677
60	101,59	»	0,129	0,208	0,270	0,332	0,369	0,447	0,458	0,498	0,537	0,575	0,611	0,652
61	103,15	»	0,091	0,146	0,191	0,224	0,260	0,291	0,323	0,348	0,374	0,405	0,421	0,451
62	104,74	»	0,115	0,148	0,196	0,227	0,259	0,287	0,319	0,354	0,382	0,406	0,433	0,453
63	106,04	»	0,097	0,152	0,198	0,222	0,270	0,304	0,330	0,362	0,384	0,411	0,432	0,457
64	107,34	»	0,093	0,149	0,189	0,233	0,266	0,306	0,338	0,362	0,377	0,425	0,431	0,454
65	108,70	»	0,111	0,150	0,193	0,232	0,271	0,303	0,335	0,362	0,386	0,417	0,434	0,462
66	110,00	0,052	0,120	0,180	0,207	0,236	0,281	0,308	0,337	0,367	0,390	0,418	0,438	0,463
67	111,34	»	0,096	0,157	0,221	0,245	0,287	0,313	0,340	0,373	0,397	0,425	0,446	0,475
68	112,65	»	0,128	0,191	0,237	0,250	0,272	0,310	0,347	0,375	0,401	0,438	0,446	0,482
69	113,99	»	0,125	0,189	0,234	0,267	0,296	0,328	0,357	0,383	0,409	0,438	0,454	0,488
70	115,34	»	0,115	0,171	0,212	0,264	0,303	0,343	0,369	0,398	0,428	0,444	0,462	0,488
71	116,68	»	0,124	0,204	0,245	0,258	0,294	0,331	0,359	0,390	0,419	0,439	0,465	0,489
72	118,34	»	0,091	0,147	0,190	0,242	0,273	0,317	0,342	0,372	0,403	0,427	0,437	0,475
73	120,00	0,093	0,085	0,143	0,186	0,235	0,264	0,302	0,333	0,367	0,394	0,420	0,446	0,473
74	121,71	»	0,102	0,152	0,198	0,239	0,274	0,311	0,341	0,361	0,389	0,424	0,444	0,475
75	123,66	»	0,106	0,137	0,189	0,224	0,260	0,304	0,329	0,358	0,382	0,406	0,433	0,463
76	125,66	»	0,135	0,146	0,194	0,238	0,271	0,311	0,343	0,365	0,385	0,414	0,445	0,470
77	127,04	»	0,095	0,151	0,199	0,234	0,272	0,307	0,334	0,360	0,382	0,414	0,437	0,468
78	128,34	»	0,089	0,136	0,179	0,222	0,261	0,299	0,337	0,348	0,372	0,403	0,433	0,452
79	129,71	0,148	0,085	0,134	0,181	0,217	0,252	0,288	0,322	0,348	0,372	0,398	0,422	0,446
80	131,71	»	0,095	0,147	0,189	0,234	0,264	0,303	0,326	0,359	0,386	0,403	0,436	0,460
81	133,65	»	0,088	0,140	0,182	0,223	0,256	0,297	0,321	0,348	0,373	0,398	0,428	0,452

[1] Le nivellement du fond est emprunté à la série n° 7.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,208.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,516.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.
82	135,65	"	0,109	0,139	0,181	0,222	0,259	0,293	0,326	0,350	0,368	0,396	0,425	0,447
83	137,65	"	0,089	0,138	0,182	0,219	0,249	0,288	0,320	0,348	0,368	0,396	0,418	0,441
84	138,89	"	0,093	0,147	0,185	0,221	0,251	0,290	0,315	0,341	0,369	0,394	0,417	0,442
85	140,03	0,197	0,089	0,135	0,180	0,219	0,251	0,287	0,310	0,340	0,370	0,391	0,417	0,442
86	141,70	"	0,088	0,143	0,185	0,221	0,253	0,288	0,307	0,334	0,365	0,384	0,418	0,437
87	143,36	"	0,087	0,142	0,182	0,216	0,246	0,263	0,309	0,340	0,364	0,391	0,412	0,439
88	145,04	"	0,086	0,149	0,178	0,218	0,251	0,284	0,305	0,340	0,363	0,387	0,411	0,434
89	146,69	"	0,086	0,139	0,181	0,220	0,253	0,288	0,312	0,341	0,374	0,392	0,415	0,443
90	148,37	"	0,088	0,143	0,184	0,225	0,256	0,289	0,319	0,345	0,375	0,399	0,422	0,446
91	150,00	0,240	0,085	0,138	0,180	0,222	0,258	0,285	0,313	0,347	0,373	0,395	0,423	0,444
92	151,56	"	0,090	0,144	0,185	0,220	0,241	0,282	0,308	0,349	0,365	0,398	0,410	0,442
93	153,25	"	0,096	0,153	0,189	0,228	0,266	0,293	0,319	0,348	0,375	0,399	0,428	0,446
94	154,90	"	0,088	0,142	0,176	0,217	0,252	0,292	0,313	0,342	0,359	0,393	0,416	0,436
95	156,50	"	0,128	0,150	0,193	0,231	0,265	0,301	0,319	0,346	0,374	0,400	0,423	0,446
96	158,14	"	0,090	0,145	0,189	0,226	0,256	0,293	0,319	0,343	0,369	0,395	0,418	0,439
97	160,00	0,289	0,120	0,144	0,188	0,220	0,254	0,285	0,319	0,339	0,368	0,391	0,419	0,440
98	162,10	"	0,086	0,140	0,184	0,223	0,255	0,286	0,320	0,344	0,371	0,397	0,420	0,444
99	164,10	"	0,085	0,134	0,182	0,218	0,254	0,282	0,312	0,339	0,358	0,387	0,412	0,433
100	166,10	"	0,086	0,137	0,184	0,220	0,252	0,285	0,314	0,340	0,365	0,402	0,412	0,434
101	168,02	"	0,088	0,140	0,188	0,219	0,257	0,292	0,314	0,343	0,367	0,383	0,413	0,438
102	170,09	0,335	0,112	0,142	0,200	0,221	0,254	0,284	0,313	0,337	0,363	0,387	0,405	0,429
103	171,79	"	0,088	0,139	0,182	0,215	0,249	0,281	0,318	0,336	0,359	0,386	0,406	0,422
104	173,44	"	0,084	0,134	0,172	0,213	0,244	0,280	0,307	0,334	0,358	0,383	0,404	0,429
105	175,16	"	0,085	0,141	0,180	0,214	0,247	0,275	0,304	0,332	0,357	0,383	0,410	0,431
106	176,72	"	0,082	0,133	0,173	0,210	0,244	0,276	0,308	0,334	0,361	0,389	0,411	0,434
107	178,22	"	0,090	0,142	0,184	0,221	0,252	0,283	0,307	0,341	0,364	0,387	0,416	0,435
108	180,00	0,390	0,096	0,144	0,190	0,227	0,255	0,291	0,316	0,350	0,367	0,397	0,422	0,445
109	181,92	"	0,089	0,137	0,180	0,219	0,247	0,281	0,309	0,341	0,362	0,387	0,412	0,446
110	183,82	"	0,088	0,137	0,179	0,218	0,245	0,281	0,309	0,335	0,360	0,388	0,414	0,443
111	185,52	"	0,089	0,138	0,184	0,225	0,253	0,286	0,311	0,345	0,365	0,394	0,419	0,447
112	186,92	"	0,098	0,148	0,185	0,227	0,254	0,289	0,319	0,350	0,368	0,394	0,419	0,445
113	188,22	"	0,092	0,140	0,184	0,220	0,252	0,286	0,313	0,342	0,364	0,391	0,416	0,439
114	189,67	0,439	0,101	0,149	0,189	0,224	0,252	0,287	0,315	0,345	0,362	0,384	0,410	0,440
115	191,13	"	0,088	0,139	0,179	0,215	0,247	0,281	0,312	0,341	0,358	0,386	0,410	0,437
116	192,61	"	0,121	0,148	0,186	0,222	0,252	0,284	0,314	0,348	0,368	0,394	0,415	0,445
117	194,26	"	0,089	0,145	0,187	0,219	0,252	0,283	0,316	0,345	0,369	0,396	0,420	0,445
118	195,97	"	0,094	0,164	0,190	0,227	0,258	0,294	0,320	0,359	0,359	0,402	0,425	0,446
119	197,23	"	0,092	0,153	0,189	0,226	0,253	0,292	0,319	0,348	0,370	0,396	0,417	0,445
120	198,53	"	0,092	0,142	0,185	0,219	0,249	0,282	0,319	0,344	0,370	0,397	0,415	0,443
121	200,00	0,490	0,095	0,141	0,185	0,221	0,246	0,284	0,304	0,332	0,357	0,387	0,400	0,431

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE EXTRE LES PROFILS N°s 82 ET 114.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,0925	0,0917	1,1683	0,0785	1,090	0,000323
2	0,203	0,1414	0,1436	1,2864	0,1099	1,436	0,000261
3	0,307	0,1836	0,1904	1,3893	0,1370	1,612	0,000258
4	0,411	0,2206	0,2328	1,4776	0,1575	1,765	0,000248
5	0,515	0,2523	0,2703	1,5541	0,1739	1,905	0,000235
6	0,618	0,2862	0,3114	1,6359	0,1903	1,985	0,000237
7	0,721	0,3133	0,3451	1,7014	0,2028	2,089	0,000228
8	0,824	0,3418	0,3814	1,7701	0,2155	2,150	0,000228
9	0,927	0,3658	0,4126	1,8281	0,2257	2,247	0,000219
10	1,030	0,3915	0,4466	1,8901	0,2361	2,308	0,000217
11	1,133	0,4155	0,4790	1,9481	0,2459	2,365	0,000215
12	1,236	0,4393	0,5116	2,0055	0,2551	2,416	0,000214

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,372	1,081	0,788	1,420	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 92 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 79 et 102.
2	1,745	1,408	0,807	1,785	
3	1,956	1,603	0,820	2,000	
4	2,114	1,759	0,832	2,170	
5	2,265	1,888	0,833	2,390	
6	2,375	1,967	0,828	2,500	
7	2,471	2,072	0,838	2,600	
8	2,595	2,146	0,827	2,690	
9	2,660	2,231	0,839	2,782	
10	2,721	2,289	0,841	2,830	
11	2,756	2,347	0,852	2,920	
12	2,839	2,407	0,848	2,960	

SÉRIE N° 23. (Voir p. 93-96, pl. X.)

CANAL TRIANGULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : triangle; les deux côtés inclinés à 45°. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent d'amont pour les expériences n°s 1, 2 et 12 ; vent de côté pour les neuf autres. — Température de l'eau : 18°,5 pour les expériences n°s 1, 2 et 12 ; 22° pour les neuf autres. — Dates des expériences : 11, 13 et 14 juillet 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,236.
59	100,00	0 [1]	0,377	0,495	0,580	0,643	0,702	0,757	0,809	0,840	0,883	0,909	0,943	0,955
60	101,59	"	0,369	0,480	0,564	0,626	0,680	0,736	0,783	0,815	0,854	0,885	0,918	0,928
61	103,15	"	0,268	0,347	0,416	0,469	0,510	0,550	0,584	0,617	0,646	0,672	0,706	0,735
62	104,74	"	0,274	0,361	0,426	0,475	0,519	0,560	0,594	0,629	0,659	0,683	0,719	0,738
63	106,04	"	0,281	0,367	0,429	0,476	0,518	0,566	0,598	0,631	0,660	0,689	0,719	0,748
64	107,34	"	0,304	0,380	0,441	0,488	0,526	0,569	0,603	0,640	0,666	0,702	0,720	0,753
65	108,70	"	0,302	0,387	0,446	0,485	0,531	0,569	0,604	0,636	0,663	0,697	0,721	0,753
66	110,00	0,052	0,324	0,419	0,483	0,529	0,560	0,603	0,628	0,655	0,675	0,704	0,734	0,769
67	111,34	"	0,329	0,421	0,495	0,540	0,590	0,635	0,674	0,710	0,733	0,741	0,747	0,795
68	112,65	"	0,323	0,418	0,489	0,544	0,586	0,630	0,663	0,706	0,720	0,767	0,791	0,826
69	113,99	"	0,330	0,421	0,489	0,533	0,573	0,618	0,653	0,674	0,694	0,720	0,768	0,793
70	115,34	"	0,306	0,389	0,463	0,520	0,574	0,592	0,671	0,705	0,708	0,731	0,766	0,785
71	116,68	"	0,279	0,367	0,436	0,484	0,535	0,576	0,615	0,657	0,689	0,708	0,745	0,763
72	118,34	"	0,274	0,361	0,425	0,476	0,516	0,561	0,597	0,630	0,662	0,695	0,727	0,754
73	120,00	0,093	0,293	0,373	0,429	0,478	0,519	0,571	0,602	0,632	0,665	0,685	0,717	0,743
74	121,71	"	0,283	0,368	0,435	0,482	0,525	0,565	0,600	0,633	0,666	0,687	0,722	0,742
75	123,66	"	0,296	0,360	0,421	0,470	0,517	0,559	0,595	0,623	0,656	0,678	0,711	0,735
76	125,66	"	0,285	0,367	0,427	0,477	0,520	0,564	0,595	0,633	0,659	0,680	0,712	0,732
77	127,04	"	0,288	0,373	0,435	0,482	0,530	0,567	0,599	0,636	0,665	0,689	0,716	0,739
78	128,34	"	0,278	0,368	0,432	0,483	0,526	0,565	0,601	0,635	0,668	0,690	0,717	0,737
79	129,71	0,148	0,271	0,359	0,423	0,471	0,513	0,556	0,590	0,621	0,653	0,677	0,706	0,731
80	131,71	"	0,268	0,353	0,417	0,462	0,505	0,540	0,579	0,609	0,638	0,666	0,695	0,718
81	133,65	"	0,261	0,344	0,407	0,457	0,495	0,538	0,573	0,607	0,632	0,659	0,685	0,711

[1] Le nivellement du fond est emprunté à la série n° 7.

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m³,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m³,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m³,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m³,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m³,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m³,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m³,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m³,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m³,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m³,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m³,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m³,236.
82	135,65	»	0,272	0,359	0,422	0,467	0,510	0,551	0,580	0,612	0,643	0,670	0,699	0,720
83	137,65	»	0,263	0,349	0,409	0,455	0,499	0,540	0,573	0,603	0,635	0,661	0,690	0,711
84	138,89	»	0,267	0,353	0,413	0,464	0,506	0,546	0,580	0,613	0,641	0,671	0,699	0,720
85	140,03	0,197	0,283	0,356	0,420	0,468	0,506	0,549	0,586	0,612	0,639	0,676	0,697	0,717
86	141,70	»	0,277	0,358	0,420	0,467	0,510	0,552	0,583	0,617	0,643	0,670	0,700	0,713
87	143,36	»	0,286	0,358	0,422	0,469	0,509	0,548	0,582	0,615	0,643	0,673	0,701	0,716
88	145,04	»	0,279	0,364	0,426	0,473	0,513	0,552	0,584	0,620	0,645	0,671	0,699	0,721
89	146,69	»	0,306	0,362	0,422	0,472	0,512	0,549	0,581	0,616	0,646	0,671	0,699	0,722
90	148,37	»	0,298	0,381	0,437	0,478	0,522	0,557	0,595	0,623	0,649	0,676	0,705	0,724
91	150,00	0,240	0,288	0,388	0,437	0,481	0,521	0,560	0,590	0,624	0,648	0,678	0,703	0,724
92	151,56	»	0,293	0,374	0,435	0,482	0,524	0,560	0,599	0,626	0,656	0,681	0,708	0,726
93	153,25	»	0,292	0,377	0,437	0,482	0,520	0,560	0,594	0,625	0,654	0,679	0,703	0,723
94	154,90	»	0,272	0,358	0,419	0,471	0,514	0,551	0,584	0,612	0,644	0,671	0,694	0,716
95	156,50	»	0,304	0,387	0,450	0,490	0,535	0,580	0,610	0,637	0,665	0,694	0,713	0,732
96	158,14	»	0,275	0,357	0,422	0,472	0,512	0,552	0,587	0,616	0,641	0,669	0,694	0,718
97	160,00	0,289	0,288	0,374	0,437	0,485	0,525	0,564	0,599	0,629	0,656	0,685	0,707	0,728
98	162,10	»	0,276	0,360	0,427	0,475	0,520	0,553	0,588	0,618	0,647	0,676	0,697	0,723
99	164,10	»	0,272	0,355	0,422	0,472	0,514	0,550	0,586	0,614	0,647	0,669	0,697	0,718
100	166,10	»	0,283	0,363	0,430	0,478	0,517	0,556	0,593	0,622	0,658	0,671	0,698	0,712
101	168,02	»	0,270	0,353	0,420	0,469	0,514	0,551	0,585	0,612	0,643	0,669	0,692	0,702
102	170,09	0,335	0,268	0,350	0,419	0,464	0,506	0,545	0,580	0,607	0,638	0,668	0,691	0,697
103	171,79	»	0,287	0,368	0,429	0,477	0,519	0,555	0,587	0,619	0,649	0,673	0,702	0,707
104	173,44	»	0,275	0,356	0,422	0,468	0,511	0,547	0,584	0,611	0,637	0,665	0,691	0,703
105	175,16	»	0,271	0,357	0,419	0,467	0,509	0,552	0,584	0,614	0,640	0,664	0,691	0,705
106	176,72	»	0,278	0,353	0,420	0,463	0,508	0,546	0,579	0,610	0,633	0,657	0,682	0,703
107	178,22	»	0,306	0,373	0,431	0,476	0,515	0,558	0,592	0,623	0,650	0,674	0,702	0,706
108	180,00	0,390	0,297	0,385	0,448	0,489	0,528	0,577	0,601	0,631	0,661	0,688	0,717	0,714
109	181,92	»	0,253	0,348	0,409	0,459	0,499	0,543	0,575	0,604	0,638	0,661	0,686	0,702
110	183,82	»	0,272	0,360	0,424	0,472	0,512	0,555	0,580	0,611	0,644	0,669	0,717	0,707
111	185,52	»	0,283	0,362	0,428	0,476	0,515	0,561	0,591	0,624	0,648	0,678	0,701	0,706
112	186,92	»	0,280	0,360	0,421	0,472	0,512	0,565	0,586	0,620	0,647	0,673	0,701	0,700
113	188,22	»	0,277	0,361	0,417	0,468	0,510	0,561	0,584	0,621	0,639	0,665	0,702	0,691
114	189,67	0,439	0,274	0,353	0,421	0,463	0,506	0,554	0,583	0,614	0,640	0,667	0,691	0,689
115	191,13	»	0,302	0,352	0,419	0,465	0,510	0,554	0,584	0,617	0,643	0,669	0,693	0,708
116	192,61	»	0,293	0,383	0,443	0,492	0,531	0,575	0,603	0,635	0,658	0,684	0,715	0,717
117	194,26	»	0,283	0,363	0,432	0,475	0,513	0,564	0,597	0,627	0,650	0,675	0,705	0,716
118	195,97	»	0,268	0,361	0,432	0,479	0,520	0,565	0,594	0,626	0,654	0,680	0,705	0,722
119	197,23	»	0,277	0,360	0,429	0,476	0,521	0,560	0,592	0,625	0,651	0,681	0,702	0,722
120	198,53	»	0,267	0,351	0,418	0,466	0,512	0,553	0,582	0,617	0,645	0,666	0,691	0,718
121	200,00	0,490	0,266	0,340	0,404	0,444	0,484	0,527	0,555	0,582	0,609	0,633	0,656	0,673

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 75 ET 98.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R=\frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U=\frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A=\frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,2819	0,0795	0,7973	0,0997	1,258	0,000309
2	0,203	0,3641	0,1326	1,0300	0,1287	1,531	0,000269
3	0,307	0,4257	0,1812	1,2040	0,1505	1,694	0,000257
4	0,411	0,4730	0,2237	1,3378	0,1672	1,837	0,000243
5	0,515	0,5152	0,2654	1,4572	0,1821	1,940	0,000237
6	0,618	0,5547	0,3077	1,5689	0,1961	2,008	0,000238
7	0,721	0,5886	0,3464	1,6648	0,2081	2,081	0,000235
8	0,824	0,6201	0,3845	1,7540	0,2192	2,143	0,000234
9	0,927	0,6486	0,4207	1,8345	0,2293	2,203	0,000231
10	1,030	0,6755	0,4563	1,9106	0,2388	2,257	0,000230
11	1,133	0,7021	0,4929	1,9858	0,2482	2,299	0,000230
12	1,236	0,7232	0,5230	2,0455	0,2557	2,363	0,000224

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,594	1,265	0,793	1,575	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 91 ; à l'aide des flotteurs entre les profils n°s 79 et 97.
2	1,905	1,535	0,805	1,846	
3	1,988	1,700	0,855	1,990	
4	2,163	1,846	0,853	2,165	
5	2,240	1,955	0,873	2,282	
6	2,308	2,022	0,876	2,408	
7	2,404	2,094	0,871	2,485	
8	2,470	2,160	0,874	2,565	
9	2,584	2,223	0,860	2,620	
10	2,655	2,270	0,855	2,640	
11	2,657	2,314	0,871	2,728	
12	2,741	2,380	0,868	2,815	

SÉRIE N° 24. (Voir p. 98-99, pl. XI.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : demi-cercle de 1m,25 de diamètre. — Nature de la paroi : ciment pur. — Direction et intensité du vent : temps calme. — Température de l'eau : 17°. — Dates des expériences : 29 et 30 septembre ; 1er et 2 octobre 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m,163.
162	260,09	0	0,178	0,267	0,332	0,386	0,447	0,494	0,538	0,584	0,627	0,668	0,710	0,722
163	261,83	0,002	0,170	0,258	0,280	0,326	0,368	0,402	0,429	0,458	0,481	0,502	0,511	0,535
164	263,43	»	0,166	0,250	0,286	0,321	0,385	0,409	0,435	0,460	0,485	0,509	0,533	0,541
165	265,17	0,009	0,158	0,227	0,283	0,322	0,369	0,404	0,437	0,466	0,493	0,509	0,530	0,541
166	267,07	»	0,142	0,210	0,261	0,303	0,346	0,379	0,419	0,448	0,469	0,499	0,611	0,594
167	269,15	0,031	0,173	0,231	0,266	0,311	0,391	0,460	0,490	0,525	0,558	0,641	0,586	0,598
168	270,70	»	0,175	0,264	0,306	0,359	0,383	0,413	0,453	0,511	0,517	0,548	0,665	0,679
169	272,20	0,032	0,180	0,256	0,311	0,360	0,415	0,464	0,509	0,529	0,549	0,646	0,586	0,611
170	273,80	»	0,171	0,252	0,310	0,331	0,408	0,446	0,458	0,510	0,527	0,557	0,647	0,648
171	275,36	0,036	0,187	0,263	0,324	0,361	0,410	0,445	0,524	0,546	0,578	0,641	0,617	0,640
172	276,96	»	0,170	0,241	0,302	0,351	0,402	0,438	0,465	0,517	0,540	0,563	0,625	0,636
173	278,46	0,036	0,164	0,243	0,298	0,356	0,404	0,439	0,493	0,528	0,563	0,618	0,602	0,621
174	279,90	»	0,178	0,250	0,312	0,358	0,411	0,453	0,488	0,520	0,555	0,579	0,659	0,659
175	281,90	0,043	0,179	0,254	0,309	0,354	0,408	0,443	0,487	0,530	0,569	0,610	0,641	0,660
176	283,78	»	0,185	0,264	0,325	0,362	0,409	0,471	0,508	0,542	0,573	0,607	0,610	0,626
177	285,58	0,046	0,171	0,236	0.297	0,336	0,391	0,446	0,483	0,509	0,535	0,562	0,632	0,636
178	287,40	»	0,177	0,255	0,308	0,367	0,427	0,454	0,500	0,536	0,573	0,615	0,618	0,626
179	289,34	0,056	0,184	0,263	0,329	0,364	0,415	0,454	0,496	0,541	0,571	0,589	0,627	0,636
180	291,28	»	0,181	0,254	0,317	0,361	0,408	0,438	0,495	0,528	0,551	0,586	0,648	0,654
181	292,70	0,056	0,171	0,244	0,303	0,349	0,407	0,452	0,489	0,522	0,553	0,577	0,616	0,619
182	294,00	»	0,180	0,255	0,315	0,363	0,395	0,431	0,480	0,513	0,543	0,598	0,616	0,627
183	295,50	0,064	0,185	0,257	0,315	0,355	0,404	0,450	0,498	0,535	0,570	0,595	0,634	0,642
184	297,04	»	0,173	0,251	0,309	0,357	0,418	0,452	0,481	0,520	0,541	0,592	0,602	0,608
185	298,24	0,066	0,166	0,244	0,300	0,356	0,390	0,429	0,489	0,522	0,555	0,579	0,628	0,640
186	300,20	»	0,168	0,241	0,294	0,353	0,399	0,448	0,489	0,527	0,549	0,594	0,615	0,618

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,163.
187	302,26	0,074	0,179	0,262	0,306	0,360	0,416	0,474	0,511	0,535	0,575	0,617	0,643	0,654
188	304,24	»	0,179	0,257	0,322	0,369	0,401	0,457	0,494	0,523	0,560	0,585	0,625	0,637
189	306,12	0,076	0,168	0,244	0,300	0,354	0,392	0,444	0,485	0,517	0,549	0,588	0,626	0,635
190	307,79	»	0,183	0,267	0,328	0,370	0,423	0,445	0,495	0,523	0,553	0,583	0,610	0,624
191	309,49	0,083	0,183	0,247	0,322	0,363	0,403	0,432	0,480	0,512	0,550	0,588	0,635	0,641
192	311,07	»	0,179	0,241	0,294	0,336	0,399	0,434	0,474	0,500	0,531	0,550	0,590	0,597
193	312,26	0,085	0,163	0,234	0,290	0,332	0,373	0,429	0,473	0,506	0,539	0,566	0,593	0,596
194	313,72	»	0,178	0,242	0,307	0,347	0,387	0,444	0,488	0,522	0,554	0,589	0,629	0,637
195	315,28	0,089	0,176	0,243	0,296	0,343	0,385	0,412	0,454	0,484	0,515	0,540	0,580	0,585
196	316,96	»	0,175	0,245	0,301	0,348	0,370	0,402	0,443	0,492	0,531	0,579	0,613	0,617
197	318,72	0,096	0,185	0,261	0,326	0,360	0,387	0,421	0,464	0,539	0,574	0,571	0,641	0,653
198	320,00	»	0,159	0,229	0,283	0,333	0,380	0,420	0,465	0,488	0,521	0,549	0,582	0,589
199	322,09	0,108	0,148	0,219	0,291	0,382	0,428	0,463	0,506	0,556	0,595	0,629	0,667	0,673
200	323,65	»	0,180	0,263	0,319	0,388	0,420	0,474	0,509	0,524	0,555	0,593	0,605	0,623
201	325,09	0,111	0,185	0,262	0,335	0,388	0,408	0,453	0,492	0,530	0,570	0,608	0,654	0,666
202	326,40	»	0,192	0,272	0,342	0,382	0,418	0,458	0,516	0,550	0,571	0,601	0,624	0,634
203	327,98	0,112	0,191	0,264	0,334	0,366	0,417	0,458	0,508	0,513	0,553	0,599	0,649	0,652
204	329,44	»	0,190	0,264	0,330	0,361	0,427	0,464	0,496	0,548	0,579	0,597	0,617	0,621
205	330,85	0,114	0,182	0,253	0,319	0,359	0,413	0,450	0,494	0,526	0,555	0,589	0,614	0,646
206	332,18	»	0,191	0,270	0,333	0,395	0,422	0,461	0,494	0,537	0,551	0,575	0,616	0,636
207	333,80	0,121	0,187	0,257	0,325	0,370	0,410	0,440	0,485	0,525	0,561	0,600	0,637	0,645
208	335,34	»	0,199	0,271	0,338	0,380	0,421	0,468	0,522	0,551	0,583	0,600	0,631	0,635
209	337,00	0,126	0,196	0,275	0,335	0,386	0,419	0,467	0,520	0,547	0,559	0,597	0,653	0,664
210	338,30	»	0,201	0,278	0,330	0,374	0,428	0,470	0,492	0,532	0,587	0,607	0,625	0,640
211	339,60	0,128	0,198	0,278	0,311	0,374	0,442	0,466	0,523	0,562	0,573	0,609	0,661	0,662
212	340,92	»	0,190	0,265	0,326	0,362	0,414	0,452	0,487	0,518	0,560	0,587	0,609	0,624
213	342,16	0,130	0,186	0,263	0,321	0,378	0,411	0,447	0,483	0,524	0,531	0,578	0,598	0,600
214	343,64	»	0,167	0,235	0,288	0,333	0,357	0,426	0,458	0,496	0,533	0,563	0,615	0,619
215	344,98	0,132	0,152	0,214	0,274	0,316	0,366	0,398	0,448	0,474	0,522	0,542	0,592	0,602
216	346,68	»	0,173	0,234	0,278	0,327	0,381	0,417	0,465	0,499	0,551	0,584	0,606	0,618
217	348,26	0,137	0,184	0,259	0,312	0,362	0,406	0,445	0,491	0,526	0,560	0,582	0,625	0,631
218	349,74	»	0,166	0,236	0,297	0,337	0,392	0,418	0,465	0,493	0,535	0,567	0,589	0,602
219	351,24	0,140	0,158	0,247	0,317	0,361	0,410	0,452	0,490	0,522	0,545	0,577	0,606	0,612
220	352,68	»	0,168	0,250	0,320	0,362	0,405	0,438	0,486	0,518	0,557	0,581	0,626	0,633
221	354,22	0,144	0,174	0,240	0,302	0,346	0,394	0,439	0,479	0,515	0,533	0,566	0,587	0,589
222	355,54	»	0,147	0,236	0,301	0,348	0,402	0,421	0,462	0,498	0,529	0,557	0,585	0,587
223	356,98	0,149	0,161	0,232	0,291	0,336	0,382	0,415	0,458	0,487	0,518	0,552	0,572	0,581
224	358,43	»	0,156	0,226	0,284	0,327	0,367	0,409	0,443	0,477	0,507	0,537	0,564	0,590
225	359,74	0,159	0,169	0,224	0,278	0,323	0,368	0,401	0,436	0,467	0,495	0,522	0,546	0,555
226	361,16	0,161	0,146	0,200	0,240	0,277	0,312	0,341	0,368	0,395	0,419	0,439	0,458	0,463

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 169 ET 212.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,1797	0,1085	0,9723	0,1116	0,921	0,000197
2	0,203	0,2542	0,1789	1,1696	0,1533	1,135	0,000179
3	0,307	0,3148	0,2424	1,3143	0,1844	1,267	0,000173
4	0,411	0,3608	0,2935	1,4106	0,2080	1,401	0,000159
5	0,515	0,4074	0,3472	1,5190	0,2286	1,483	0,000156
6	0,618	0,4482	0,3956	1,6050	0,2465	1,562	0,000151
7	0,721	0,4909	0,4473	1,6933	0,2642	1,612	0,000153
8	0,824	0,5258	0,4901	1,7570	0,2790	1,681	0,000148
9	0,927	0,5568	0,5285	1,8268	0,2893	1,754	0,000141
10	1,030	0,5910	0,5711	1,8882	0,3025	1,803	0,000140
11	1,133	0,6248	0,6135	1,9558	0,3137	1,847	0,000138
12	1,163	0,6339	0,6247	1,9813	0,3153	1,862	0,000137

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	1,064	0,941	0,884	1,057	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 184 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 174 et n° 211.
2	1,324	1,133	0,856	1,310	
3	1,485	1,264	0,851	1,486	
4	1,605	1,394	0,868	1,621	
5	1,739	1,485	0,854	1,745	
6	1,800	1,562	0,868	1,813	
7	1,858	1,610	0,867	1,903	
8	1,920	1,681	0,876	1,929	
9	1,990	1,752	0,880	1,990	
10	2,044	1,810	0,886	2,053	
11	2,099	1,841	0,877	2,150	
12	2,124	1,859	0,875	2,175	

SÉRIE N° 25. (Voir p. 98-99, pl. XI.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN CIMENT.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : demi-cercle de 1m,25 de diamètre. — Nature de la paroi : ciment mélangé d'un tiers de sable siliceux de Saône très-fin. — Direction et intensité du vent : vent de côté assez fort pour les six premières expériences; temps calme pour les six dernières. — Température de l'eau : 17°. — Dates des expériences : 11, 12, 14 et 15 septembre 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m³,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m³,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m³,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m³,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m³,518.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m³,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m³,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m³,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m³,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 0m³,983.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1m³,030.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1m³,086.
162	260,09	0	0,171	0,261	0,326	0,390	0,446	0,496	0,545	0,588	0,622	0,643	0,672	0,690
163	261,83	0,003	0,181	0,260	0,328	0,357	0,395	0,452	0,510	0,567	0,623	0,653	0,672	0,693
164	263,43	"	0,185	0,268	0,326	0,366	0,401	0,483	0,542	0,590	0,615	0,627	0,634	0,657
165	265,17	0,007	0,155	0,246	0,309	0,350	0,410	0,458	0,502	0,526	0,536	0,562	0,585	0,611
166	267,07	"	0,188	0,261	0,336	0,396	0,412	0,473	0,518	0,547	0,548	0,571	0,599	0,627
167	269,15	0,013	0,174	0,256	0,319	0,366	0,442	0,480	0,529	0,540	0,547	0,572	0,602	0,630
168	270,70	"	0,186	0,265	0,329	0,378	0,426	0,471	0,513	0,529	0,576	0,608	0,652	0,649
169	272,20	0,021	0,182	0,268	0,323	0,365	0,409	0,450	0,499	0,544	0,616	0,622	0,626	0,644
170	273,80	"	0,173	0,256	0,318	0,363	0,402	0,443	0,493	0,555	0,587	0,581	0,599	0,629
171	275,36	0,026	0,181	0,268	0,324	0,368	0,410	0,468	0,530	0,555	0,569	0,601	0,633	0,645
172	276,96	"	0,182	0,258	0,328	0,361	0,406	0,469	0,507	0,512	0,587	0,612	0,612	0,631
173	278,46	0,030	0,178	0,269	0,325	0,351	0,409	0,456	0,492	0,543	0,587	0,597	0,612	0,641
174	279,90	"	0,182	0,257	0,314	0,351	0,406	0,457	0,523	0,574	0,578	0,602	0,630	0,637
175	281,90	0,033	0,174	0,251	0,299	0,335	0,412	0,443	0,507	0,511	0,565	0,583	0,586	0,603
176	283 78	"	0,184	0,258	0,331	0,375	0,427	0,471	0,518	0,520	0,586	0,597	0,609	0,631
177	285,58	0,040	0,176	0,248	0,310	0,369	0,417	0,458	0,506	0,524	0,575	0,592	0,618	0,628
178	287,40	"	0,168	0,244	0,287	0,342	0,393	0,436	0,479	0,535	0,553	0,583	0,593	0,609
179	289,34	0,046	0,159	0,241	0,305	0,361	0,410	0,452	0,493	0,531	0,571	0,593	0,600	0,623
180	291,28	"	0,182	0,268	0,324	0,375	0,436	0,482	0,525	0,557	0,591	0,621	0,634	0,646
181	292,70	0,062	0,191	0,273	0,330	0,387	0,443	0,489	0,537	0,560	0,597	0,611	0,636	0,654
182	294,00	"	0,197	0,283	0,350	0,394	0,454	0,499	0,535	0,575	0,597	0,632	0,639	0,656
183	295,50	0,068	0,200	0,286	0,346	0,394	0,457	0,497	0,531	0,577	0,603	0,630	0,643	0,662
184	297,04	"	0,194	0,282	0,345	0,404	0,453	0,500	0,524	0,570	0,611	0,626	0,646	0,658
185	298,34	0,073	0,195	0,276	0,347	0,406	0,458	0,485	0,539	0,567	0,604	0,621	0,630	0,654
186	300,20	"	0,195	0,282	0,351	0,386	0,440	0,501	0,529	0,570	0,600	0,621	0,644	0,652

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.											
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 0mc,983.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,086.
187	302,26	0,080	0,202	0,291	0,354	0,409	0,464	0,497	0,539	0,588	0,619	0,635	0,646	0,671
188	304,24	»	0,196	0,281	0,345	0,391	0,427	0,480	0,535	0,570	0,608	0,625	0,644	0,651
189	306,12	0,075	0,189	0,277	0,343	0,394	0,428	0,472	0,518	0,556	0,590	0,604	0,629	0,639
190	307,79	»	0,190	0,283	0,356	0,401	0,467	0,498	0,537	0,566	0,596	0,613	0,642	0,655
191	309,49	0,080	0,192	0,277	0,331	0,385	0,444	0,481	0,521	0,547	0,578	0,597	0,609	0,629
192	311,07	»	0,195	0,279	0,346	0,399	0,448	0,486	0,524	0,553	0,595	0,619	0,633	0,649
193	312,26	0,083	0,187	0,270	0,342	0,382	0,435	0,461	0,516	0,559	0,588	0,594	0,612	0,629
194	313,72	»	0,202	0,283	0,338	0,407	0,450	0,480	0,539	0,569	0,594	0,612	0,634	0,656
195	315,28	0,085	0,183	0,267	0,333	0,373	0,422	0,451	0,500	0,522	0,563	0,590	0,606	0,617
196	316,96	»	0,189	0,264	0,333	0,384	0,441	0,469	0,520	0,540	0,578	0,601	0,619	0,625
197	318,72	0,085	0,177	0,260	0,314	0,358	0,393	0,441	0,483	0,531	0,551	0,577	0,601	0,614
198	320,00	»	0,167	0,246	0,299	0,354	0,426	0,460	0,505	0,524	0,562	0,567	0,581	0,598
199	322,09	0,086	0,185	0,267	0,344	0,380	0,435	0,486	0,539	0,557	0,595	0,604	0,619	0,639
200	323,65	»	0,202	0,278	0,343	0,384	0,452	0,471	0,510	0,538	0,566	0,595	0,616	0,629
201	325,09	0,094	0,202	0,280	0,348	0,395	0,446	0,455	0,497	0,540	0,579	0,603	0,628	0,639
202	326,40	»	0,183	0,274	0,334	0,383	0,419	0,450	0,518	0,564	0,596	0,609	0,624	0,636
203	327,98	0,094	0,192	0,273	0,337	0,386	0,427	0,484	0,538	0,539	0,554	0,569	0,596	0,605
204	329,44	»	0,181	0,258	0,325	0,358	0,403	0,425	0,455	0,497	0,565	0,584	0,608	0,623
205	330,85	0,092	0,161	0,227	0,284	0,334	0,394	0,433	0,444	0,481	0,507	0,540	0,563	0,573
206	332,18	»	0,185	0,262	0,286	0,376	0,421	0,452	0,514	0,556	0,578	0,599	0,623	0,635
207	333,80	0,095	0,161	0,235	0,293	0,356	0,413	0,444	0,475	0,501	0,521	0,548	0,569	0,581
208	335,34	»	0,185	0,268	0,326	0,384	0,430	0,462	0,507	0,543	0,589	0,602	0,619	0,634
209	337,00	0,107	0,178	0,257	0,323	0,373	0,414	0,433	0,485	0,522	0,531	0,568	0,579	0,592
210	338,30	»	0,180	0,249	0,313	0,353	0,398	0,464	0,498	0,532	0,568	0,590	0,609	0,628
211	339,60	0,113	0,189	0,262	0,327	0,378	0,435	0,437	0,496	0,529	0,562	0,572	0,587	0,605
212	340,00	»	0,180	0,255	0,310	0,364	0,401	0,455	0,501	0,532	0,577	0,590	0,612	0,625
213	342,16	0,114	0,177	0,260	0,302	0,361	0,404	0,445	0,487	0,522	0,538	0,562	0,583	0,597
214	343,64	»	0,175	0,244	0,307	0,350	0,390	0,432	0,485	0,519	0,542	0,554	0,577	0,583
215	344,98	0,124	0,180	0,265	0,317	0,354	0,406	0,467	0,507	0,547	0,581	0,603	0,617	0,635
216	346,68	»	0,188	0,260	0,333	0,349	0,397	0,472	0,506	0,539	0,559	0,586	0,600	0,612
217	348,26	0,136	0,194	0,269	0,325	0,379	0,426	0,471	0,503	0,542	0,566	0,576	0,596	0,618
218	349,74	»	0,189	0,266	0,321	0,372	0,428	0,446	0,494	0,532	0,581	0,595	0,615	0,633
219	351,54	0,137	0,201	0,281	0,343	0,399	0,447	0,469	0,530	0,568	0,585	0,602	0,612	0,629
220	352,68	»	0,192	0,271	0,336	0,389	0,429	0,466	0,512	0,532	0,554	0,574	0,596	0,617
221	354,22	0,133	0,174	0,248	0,305	0,354	0,378	0,433	0,466	0,508	0,556	0,569	0,586	0,591
222	355,54	»	0,185	0,263	0,330	0,371	0,420	0,455	0,491	0,511	0,538	0,611	0,637	0,598
223	356,98	0,136	0,181	0,249	0,314	0,361	0,382	0,430	0,464	0,512	0,559	0,570	0,578	0,600
224	358,43	»	0,161	0,235	0,306	0,352	0,380	0,410	0,440	0,468	0,510	0,526	0,541	0,548
225	359,74	0,137	0,152	0,221	0,274	0,320	0,369	0,403	0,437	0,464	0,495	0,504	0,524	0,532
226	361,16	0,139	0,133	0,191	0,234	0,265	0,300	0,327	0,355	0,383	0,407	0,419	0,432	0,437

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 169 ET 202.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,1863	0,1144	0,9908	0,1154	0,875	0,000226
2	0,203	0,2690	0,1940	1,2059	0,1612	1,047	0,000221
3	0,307	0,3312	0,2603	1,3444	0,1937	1,179	0,000209
4	0,411	0,3784	0,3135	1,4564	0,2153	1,311	0,000188
5	0,515	0,4305	0,3744	1,5606	0,2399	1,375	0,000190
6	0,618	0,4704	0,4223	1,6510	0,2558	1,463	0,000179
7	0,721	0,5167	0,4789	1,7457	0,2743	1,506	0,000182
8	0,824	0,5501	0,5202	1,8133	0,2869	1,584	0,000172
9	0,927	0,5863	0,5653	1,8860	0,2997	1,640	0,000167
10	0,983	0,6050	0,5886	1,9235	0,3067	1,670	0,000165
11	1,030	0,6215	0,6092	1,9564	0,3114	1,691	0,000163
12	1,086	0,6376	0,6294	1,9887	0,3165	1,726	0,000159

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,973	0,881	0,906	0,929	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 180 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 169 et 191.
2	1,186	1,049	0,884	1,203	
3	1,333	1,186	0,890	1,315	
4	1,468	1,319	0,898	1,456	
5	1,554	1,381	0,889	1,600	
6	1,621	1,452	0,895	1,673	
7	1,742	1,500	0,861	1,785	
8	1,810	1,575	0,870	1,845	
9	1,860	1,627	0,875	1,940	
10	1,892	1,657	0,876	1,975	
11	1,952	1,681	0,861	2,000	
12	1,959	1,713	0,875	2,031	

SÉRIE N° 26. (Voir p. 98-100, pl. XI.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE EN PLANCHES.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : demi-cercle de 1m,40 de diamètre. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté assez fort pour les expériences nos 4, 6, 7 et 10 ; très-fort pour l'expérience n° 12 ; temps calme pour les autres. — Température de l'eau : 22°,5 pour l'expérience n° 13 ; 18° pour les autres. — Dates des expériences : 14, 18, 19, 20, 21 et 28 août 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.												
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.	EXPÉRIENCE N° 13. Débit par seconde 1mc,296.
162	260,09	0	0,181	0,253	0,320	0,378	0,428	0,483	0,524	0,567	0,608	0,639	0,684	0,725	0,742
163	261,83	0,004	0,178	0,257	0,315	0,380	0,423	0,458	0,493	0,523	0,562	0,587	0,633	0,689	0,701
164	263,43	0,008	0,184	0,266	0,323	0,356	0,414	0,459	0,494	0,526	0,572	0,616	0,666	0,728	0,729
165	265,17	0,010	0,171	0,248	0,303	0,351	0,397	0,438	0,476	0,516	0,573	0,608	0,656	0,665	0,699
166	267,07	0,015	0,182	0,265	0,322	0,383	0,425	0,463	0,505	0,536	0,595	0,628	0,668	0,663	0,703
167	269,15	0,023	0,185	0,265	0,328	0,367	0,421	0,467	0,508	0,532	0,579	0,604	0,658	0,660	0,681
168	270,70	0,027	0,192	0,269	0,326	0,380	0,423	0,467	0,514	0,543	0,579	0,593	0,643	0,666	0,681
169	272,20	0,025	0,187	0,264	0,324	0,373	0,419	0,460	0,500	0,523	0,582	0,604	0,633	0,704	0,713
170	273,80	0,028	0,192	0,266	0,325	0,375	0,424	0,463	0,512	0,540	0,595	0,639	0,664	0,697	0,720
171	275,36	0,031	0,184	0,262	0,313	0,364	0,411	0,458	0,503	0,535	0,578	0,604	0,648	0,650	0,673
172	276,96	0,028	0,174	0,252	0,296	0,347	0,399	0,436	0,488	0,534	0,555	0,567	0,619	0,661	0,671
173	278,46	0,030	0,177	0,255	0,311	0,364	0,415	0,455	0,504	0,542	0,580	0,624	0,635	0,686	0,710
174	279,90	0,038	0,184	0,266	0,313	0,365	0,419	0,461	0,506	0,539	0,578	0,591	0,645	0,651	0,667
175	281,90	0,035	0,181	0,255	0,313	0,375	0,411	0,456	0,505	0,532	0,574	0,579	0,639	0,660	0,666
176	283,78	0,042	0,180	0,262	0,323	0,373	0,428	0,474	0,517	0,549	0,584	0,605	0,638	0,694	0,713
177	285,58	0,047	0,180	0,256	0,318	0,359	0,424	0,468	0,519	0,550	0,580	0,604	0,639	0,671	0,703
178	287,40	0,049	0,187	0,263	0,317	0,368	0,424	0,469	0,518	0,554	0,578	0,616	0,616	0,668	0,677
179	289,34	0,053	0,184	0,266	0,325	0,379	0,426	0,462	0,505	0,555	0,582	0,618	0,649	0,671	0,687
180	291,28	0,059	0,196	0,277	0,339	0,383	0,437	0,477	0,521	0,559	0,597	0,627	0,657	0,688	0,703
181	292,70	0,062	0,195	0,279	0,323	0,387	0,445	0,474	0,521	0,566	0,575	0,612	0,664	0,694	0,716
182	294,00	0,069	0,205	0,280	0,250	0,396	0,449	0,479	0,523	0,549	0,598	0,630	0,665	0,686	0,701
183	295,50	0,068	0,201	0,272	0,327	0,389	0,438	0,468	0,516	0,542	0,595	0,619	0,659	0,693	0,706
184	297,04	0,068	0,197	0,274	0,341	0,385	0,429	0,471	0,520	0,548	0,602	0,621	0,666	0,695	0,715
185	298,24	0,071	0,198	0,278	0,332	0,330	0,431	0,466	0,513	0,552	0,588	0,618	0,664	0,685	0,699
186	300,20	0,067	0,187	0,266	0,330	0,383	0,421	0,468	0,510	0,544	0,588	0,632	0,664	0,630	0,712

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.												
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 11. Débit par seconde 1mc,133.	EXPÉRIENCE N° 12. Débit par seconde 1mc,236.	EXPÉRIENCE N° 13. Débit par seconde 1mc,296.
187	302,26	0,071	0,193	0,275	0,327	0,396	0,442	0,472	0,517	0,534	0,586	0,629	0,663	0,697	0,721
188	304,24	0,075	0,191	0,272	0,327	0,384	0,418	0,471	0,527	0,550	0,585	0,623	0,653	0,692	0,713
189	306,12	0,076	0,196	0,268	0,325	0,376	0,440	0,466	0,520	0,551	0,572	0,627	0,654	0,688	0,703
190	307,79	0,085	0,202	0,273	0,336	0,381	0,436	0,475	0,515	0,561	0,589	0,644	0,675	0,693	0,707
191	309,49	0,085	0,205	0,278	0,335	0,383	0,414	0,464	0,514	0,552	0,585	0,624	0,657	0,672	0,684
192	311,07	0,086	0,195	0,274	0,330	0,382	0,428	0,471	0,507	0,549	0,589	0,614	0,653	0,677	0,697
193	312,26	0,086	0,196	0,278	0,331	0,381	0,430	0,471	0,515	0,540	0,591	0,626	0,660	0,691	0,704
194	313,72	0,087	0,191	0,273	0,330	0,370	0,430	0,462	0,523	0,551	0,591	0,622	0,657	0,667	0,683
195	315,28	0,086	0,186	0,260	0,324	0,367	0,418	0,458	0,508	0,541	0,565	0,593	0,616	0,657	0,671
196	316,96	0,090	0,195	0,273	0,322	0,373	0,417	0,466	0,510	0,534	0,587	0,614	0,648	0,664	0,684
197	318,72	0,091	0,184	0,262	0,315	0,376	0,419	0,465	0,509	0,548	0,568	0,601	0,639	0,666	0,687
198	320,00	0,091	0,178	0,259	0,318	0,374	0,411	0,450	0,498	0,527	0,574	0,594	0,640	0,662	0,677
199	322,09	0,094	0,185	0,260	0,313	0,373	0,419	0,461	0,511	0,535	0,575	0,612	0,644	0,666	0,687
200	323,65	0,100	0,189	0,272	0,329	0,381	0,425	0,468	0,516	0,539	0,590	0,601	0,642	0,679	0,686
201	325,09	0,099	0,184	0,266	0,318	0,363	0,417	0,451	0,489	0,525	0,559	0,587	0,632	0,646	0,658
202	326,40	0,100	0,182	0,259	0,321	0,376	0,430	0,463	0,512	0,554	0,588	0,612	0,654	0,684	0,700
203	327,98	0,102	0,186	0,266	0,313	0,363	0,424	0,456	0,508	0,539	0,569	0,571	0,620	0,646	0,652
204	329,44	0,102	0,187	0,267	0,326	0,363	0,428	0,461	0,501	0,524	0,564	0,607	0,631	0,665	0,688
205	330,85	0,105	0,185	0,265	0,318	0,370	0,422	0,459	0,498	0,527	0,577	0,607	0,646	0,666	0,673
206	332,18	0,105	0,184	0,266	0,323	0,377	0,426	0,462	0,507	0,549	0,588	0,588	0,627	0,652	0,676
207	333,80	0,109	0,188	0,264	0,326	0,368	0,421	0,474	0,514	0,550	0,572	0,607	0,634	0,670	0,692
208	335,34	0,112	0,188	0,269	0,326	0,365	0,421	0,473	0,511	0,538	0,562	0,600	0,638	0,665	0,663
209	337,00	0,115	0,194	0,271	0,328	0,387	0,420	0,468	0,510	0,551	0,574	0,604	0,641	0,658	0,674
210	338,30	0,113	0,199	0,271	0,326	0,382	0,425	0,467	0,501	0,528	0,571	0,592	0,623	0,658	0,669
211	339,60	0,114	0,183	0,256	0,318	0,377	0,414	0,453	0,489	0,527	0,560	0,596	0,637	0,651	0,664
212	340,92	0,117	0,181	0,261	0,313	0,369	0,412	0,445	0,494	0,520	0,562	0,584	0,608	0,651	0,662
213	342,16	0,117	0,184	0,259	0,316	0,370	0,412	0,458	0,497	0,526	0,559	0,600	0,631	0,646	0,669
214	343,64	0,122	0,187	0,266	0,314	0,378	0,419	0,456	0,490	0,525	0,555	0,579	0,605	0,639	0,652
215	344,98	0,125	0,187	0,259	0,311	0,373	0,405	0,439	0,474	0,507	0,546	0,582	0,622	0,646	0,658
216	346,68	0,128	0,188	0,262	0,320	0,370	0,417	0,447	0,486	0,521	0,557	0,600	0,634	0,649	0,662
217	348,26	0,133	0,197	0,274	0,320	0,369	0,422	0,455	0,501	0,531	0,564	0,586	0,608	0,634	0,648
218	349,74	0,133	0,201	0,277	0,334	0,372	0,430	0,461	0,504	0,531	0,560	0,598	0,627	0,650	0,673
219	351,24	0,134	0,202	0,283	0,332	0,372	0,423	0,461	0,503	0,526	0,565	0,605	0,626	0,648	0,658
220	352,68	0,136	0,192	0,274	0,324	0,377	0,424	0,464	0,496	0,519	0,563	0,591	0,616	0,643	0,661
221	354,22	0,134	0,187	0,265	0,310	0,358	0,398	0,444	0,472	0,502	0,531	0,567	0,599	0,621	0,623
222	355,54	0,137	0,182	0,253	0,308	0,357	0,404	0,440	0,485	0,509	0,515	0,564	0,596	0,620	0,627
223	356,98	0,133	0,179	0,257	0,293	0,336	0,394	0,432	0,464	0,494	0,523	0,565	0,597	0,625	0,638
224	358,43	0,140	0,179	0,251	0,305	0,361	0,408	0,448	0,479	0,497	0,495	0,520	0,545	0,581	0,579
225	359,74	0,141	0,178	0,239	0,297	0,331	0,373	0,408	0,448	0,483	0,507	0,523	0,552	0,580	0,577
226	361,16	0,132	0,131	0,196	0,245	0,268	0,309	0,339	0,362	0,383	0,409	0,433	0,455	0,492	0,482

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 169 ET 193.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,1907	0,1259	1,0584	0,1189	0,795	0,000283
2	0,203	0,2684	0,2063	1,2608	0,1636	0,984	0,000253
3	0,307	0,3252	0,2712	1,4080	0,1926	1,132	0,000226
4	0,411	0,3771	0,3342	1,5280	0,2187	1,230	0,000217
5	0,515	0,4267	0,3970	1,6375	0,2425	1,297	0,000216
6	0,618	0,4666	0,4491	1,7232	0,2610	1,374	0,000207
7	0,721	0,5126	0,5105	1,8195	0,2806	1,413	0,000211
8	0,824	0,5460	0,5559	1,8888	0,2937	1,486	0,000200
9	0,927	0,5842	0,6083	1,9664	0,3093	1,524	0,000200
10	1,030	0,6161	0,6525	2,0309	0,3213	1,579	0,000193
11	1,133	0,6522	0,7029	2,1036	0,3341	1,612	0,000193
12	1,236	0,6821	0,7446	2,1633	0,3442	1,660	0,000187
13	1,296	0,6994	0,7689	2,1899	0,3511	1,689	0,000185

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,933	0,789	0,846	0,986	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 185 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 182 et 198.
2	1,162	0,978	0,841	1,212	
3	1,296	1,125	0,868	1,365	
4	1,385	1,227	0,886	1,478	
5	1,543	1,298	0,841	1,590	
6	1,592	1,382	0,868	1,616	
7	1,654	1,416	0,856	1,695	
8	1,712	1,496	0,874	1,725	
9	1,746	1,531	0,876	1,805	
10	1,798	1,587	0,882	1,888	
11	1,857	1,619	0,872	1,944	
12	1,916	1,679	0,876	2,014	
13	1,911	1,709	0,894	2,072	

SÉRIE N° 27. (Voir p. 98-100, pl. XI.)

CANAL DEMI-CIRCULAIRE REVÊTU DE PETIT GRAVIER.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : demi-cercle de 1m,22 de diamètre. — Nature de la paroi : gravier de 0m,01 à 0m,02 de diamètre, maintenu par un enduit en ciment. — Direction et intensité du vent : temps calme. — Température de l'eau : 12°. — Dates des expériences : 27, 29, 30 et 31 octobre ; 3 et 4 novembre 1857.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.									
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,155.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m,203.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m,259.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m,307.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m,363.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m,411.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 0m,721.
162	260,09	0,007	0,245	0,297	0,344	0,381	0,420	0,453	0,486	0,551	0,607	0,661
163	261,83	0	0,225	0,278	0,324	0,364	0,409	0,431	0,468	0,527	0,585	0,633
164	263,43	»	0,225	0,279	0,323	0,362	0,399	0,432	0,466	0,525	0,587	0,642
165	265,17	0,004	0,221	0,274	0,320	0,359	0,394	0,430	0,460	0,516	0,583	0,626
166	267,07	»	0,236	0,287	0,336	0,372	0,409	0,445	0,475	0,538	0,598	0,639
167	269,15	0,022	0,232	0,285	0,331	0,371	0,405	0,436	0,472	0,529	0,582	0,632
168	270,70	»	0,227	0,280	0,320	0,362	0,399	0,432	0,467	0,523	0,585	0,629
169	272,20	0,027	0,236	0,289	0,335	0,372	0,407	0,442	0,473	0,536	0,593	0,635
170	273,80	»	0,229	0,280	0,325	0,364	0,401	0,437	0,466	0,525	0,577	0,628
171	275,36	0,028	0,229	0,282	0,324	0,363	0,397	0,434	0,464	0,524	0,586	0,629
172	276,96	»	0,222	0,274	0,317	0,358	0,391	0,427	0,462	0,518	0,578	0,620
173	278,46	0,032	0,230	0,282	0,324	0,363	0,404	0,436	0,469	0,528	0,579	0,628
174	279,90	»	0,229	0,281	0,323	0,361	0,400	0,435	0,462	0,525	0,583	0,627
175	281,90	0,036	0,222	0,281	0,323	0,361	0,403	0,431	0,467	0,524	0,580	0,629
176	283,78	»	0,233	0,284	0,326	0,365	0,401	0,439	0,466	0,529	0,583	0,627
177	285,58	0,038	0,225	0,276	0,321	0,361	0,394	0,427	0,460	0,522	0,574	0,623
178	287,40	»	0,234	0,284	0,328	0,365	0 401	0,434	0,465	0,526	0,578	0,627
179	289,34	0,048	0,230	0,281	0,326	0,365	0,401	0,435	0,462	0,521	0,576	0,623
180	291,28	»	0,230	0,280	0,321	0,365	0,400	0,430	0,461	0,520	0,575	0,620
181	292,70	0,049	0,223	0,275	0,318	0,357	0,391	0,423	0,453	0,518	0,567	0,613
182	294,00	»	0,231	0,280	0,325	0,365	0,402	0,431	0,467	0,521	0,576	0,617
183	295,50	0,055	0,227	0,278	0,324	0,361	0,396	0,428	0,460	0,521	0,570	0,619
184	297,04	»	0,228	0,281	0,321	0,360	0,398	0,428	0,459	0,507	0,577	0,617
185	298,24	0,062	0,222	0,271	0,316	0,352	0,390	0,422	0,452	0,522	0,563	0,607

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 162 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.									
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,155.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,259.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,363.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 10. Débit par seconde 0mc,721.
186	300,20	"	0,215	0,289	0,309	0,348	0,382	0,414	0,444	0,505	0,561	0,602
187	302,26	0,068	0,234	0,285	0,330	0,367	0,403	0,439	0,460	0,525	0,579	0,626
188	304,24	"	0,224	0,273	0,318	0,354	0,393	0,420	0,452	0,507	0,568	0,609
189	306,12	0,065	0,217	0,273	0,311	0,349	0,387	0,418	0,447	0,502	0,560	0,604
190	307,79	"	0,225	0,271	0,318	0,354	0,391	0,422	0,452	0,510	0,566	0,610
191	309,49	0,080	0,224	0,271	0,315	0,351	0,390	0,422	0,448	0,509	0,560	0,605
192	311,07	"	0,225	0,276	0,320	0,356	0,390	0,426	0,455	0,509	0,562	0,599
193	312,26	0,081	0,221	0,268	0,315	0,355	0,386	0,418	0,446	0,502	0,557	0,599
194	313,72	"	0,222	0,272	0,312	0,351	0,389	0,419	0,452	0,507	0,555	0,595
195	315,28	0,083	0,216	0,267	0,311	0,343	0,382	0,412	0,447	0,495	0,551	0,598
196	316,96	"	0,221	0,271	0,310	0,345	0,388	0,415	0,445	0,501	0,553	0,599
197	318,72	0,090	0,222	0,272	0,313	0,348	0,381	0,416	0,447	0,501	0,550	0,599
198	320,00	"	0,217	0,265	0,309	0,343	0,380	0,4 7	0,444	0,497	0,544	0,591
199	322,09	0,103	0,235	0,282	0,323	0,361	0,392	0,427	0,452	0,511	0,566	0,607
200	323,65	"	0,228	0,278	0,318	0,352	0,388	0,422	0,450	0,506	0,555	0,600
201	325,09	0,110	0,232	0,284	0,324	0,362	0,396	0,426	0,461	0,509	0,560	0,602
202	326,40	"	0,234	0,282	0,322	0,362	0,395	0,427	0,451	0,510	0,559	0,601
203	327,98	0,114	0,230	0,276	0,322	0,355	0,387	0,418	0,446	0,503	0,549	0,593
204	329,44	"	0,220	0,268	0,312	0,344	0,377	0,407	0,435	0,487	0,543	0,588
205	330,85	0,117	0,222	0,270	0,311	0,348	0,378	0,408	0,436	0,495	0,541	0,581
206	332,18	"	0,221	0,268	0,309	0,343	0,376	0,410	0,434	0,490	0,541	0,585
207	333,80	0,121	0,224	0,271	0,311	0,348	0,381	0,418	0,435	0,494	0,540	0,580
208	335,34	"	0,221	0,269	0,311	0,340	0,379	0,411	0,435	0,494	0,540	0,577
209	337,00	0,131	0,225	0,275	0,319	0,350	0,383	0,412	0,438	0,496	0,540	0,583
210	338,30	"	0,229	0,276	0,322	0,352	0,386	0,415	0,443	0,496	0,539	0,587
211	339,60	0,134	0,224	0,269	0,315	0,345	0,375	0,412	0,433	0,488	0,534	0,581
212	340,92	"	0,218	0,264	0,308	0,335	0,369	0,402	0,425	0,476	0,530	0,568
213	342,16	0,132	0,216	0,262	0,304	0,336	0,368	0,399	0,424	0,473	0,528	0,567
214	343,64	"	0,215	0,262	0,299	0,334	0,365	0,396	0,420	0,468	0,523	0,560
215	344,98	0,137	0,215	0,256	0,301	0,332	0,367	0,393	0,424	0,474	0,518	0,557
216	346,68	"	0,213	0,260	0,301	0,331	0,364	0,397	0,413	0,467	0,513	0,549
217	348,26	0,142	0,209	0,255	0,295	0,325	0,354	0,385	0,412	0,458	0,507	0,553
218	349,74	"	0,199	0,244	0,287	0,316	0,347	0,377	0,399	0,446	0,494	0,542
219	351,24	0,146	0,206	0,250	0,286	0,317	0,346	0,376	0,399	0,446	0,495	0,538
220	352,68	"	0,201	0,252	0,294	0,324	0,356	0,384	0,409	0,454	0,499	0,542
221	354,22	0,151	0,196	0,237	0,279	0,309	0,340	0,368	0,388	0,438	0,475	0,518
222	355,54	"	0,194	0,239	0,266	0,302	0,336	0,366	0,384	0,431	0,470	0,507
223	356,98	0,155	0,191	0,233	0,264	0,296	0,321	0,349	0,373	0,423	0,465	0,500
224	358,43	"	0,193	0,228	0,268	0,294	0,322	0,350	0,374	0,418	0,455	0,491
225	359,74	0,159	0,184	0,220	0,252	0,280	0,311	0,337	0,346	0,384	0,425	0,461
226	361,16	0,161	0,144	0,186	0,205	0,224	0,248	0,268	0,282	0,316	0,346	0,372

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 169 ET 187.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
1	0,100	0,2778	0,1508	1,0902	0,1383	0,663	0,000534
2	0,155	0,2807	0,2032	1,2206	0,1665	0,763	0,000493
3	0,203	0,3229	0,2476	1,3113	0,1888	0,820	0,000489
4	0,259	0,3618	0,2902	1,3979	0,2076	0,893	0,000466
5	0,307	0,3980	0,3312	1,4834	0,2227	0,929	0,000464
6	0,363	0,4311	0,3694	1,5462	0,2389	0,983	0,000457
7	0,411	0,4617	0,4053	1,6095	0,2518	1,014	0,000463
8	0,515	0,5219	0,4773	1,7394	0,2744	1,079	0,000457
9	0,618	0,5766	0,5438	1,8425	0,2951	1,137	0,000450
10	0,721	0,6219	0,5990	1,9454	0,3086	1,204	0,000427

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
1	0,842	0,670	0,796	0,850	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 180 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 168 et 202.
2	0,962	0,775	0,806	0,972	
3	1,008	0,831	0,825	1,056	
4	1,069	0,907	0,848	1,127	
5	1,117	0,940	0,842	1,162	
6	1,156	0,998	0,863	1,190	
7	1,210	1,029	0,850	1,237	
8	1,263	1,099	0,870	1,343	
9	1,349	1,157	0,858	1,393	
10	1,392	1,225	0,880	1,450	

SÉRIES N°s 28, 29, 30 ET 31. (Voir p. 103-105, pl. XI.)

PETITS CANAUX RECTANGULAIRES.

Pente longitudinale du fond : série n° 28, 0^m,0047 par mètre; série n° 29, 0^m,0152 par mètre; série n° 30, 0^m,0081 par mètre; série n° 31, 0^m,0152 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 0^m,10 de largeur. — Nature de la paroi : planches très-unies pour les séries n°s 28 et 29; planches recouvertes de grosse toile pour les séries n°s 30 et 31. — Direction et intensité du vent : les expériences ont été faites dans une galerie souterraine et complétement à l'abri. — Température de l'eau : 10°. — Dates des expériences : série n° 28, 19 décembre 1859; série n° 29, 26 et 27 décembre 1859; série n° 30, 2, 3 et 5 janvier 1860; série n° 31, 28 et 29 décembre 1859.

OBSERVATIONS.

La surface du canal sur lequel ont été faites les expériences des séries n°s 28 et 29 était très-unie; il avait été creusé dans quatre pièces de sapin d'environ 5 mètres de longueur chacune, assemblées bout à bout, de telle sorte qu'il n'existait que trois joints sur toute la longueur. Les parois présentaient un degré de poli égal, sinon supérieur, à celui d'un enduit en ciment; elles étaient en outre très-régulières.

Pour procéder aux séries n°s 30 et 31, on a recouvert les parois de grosse toile clouée avec soin : l'épaisseur de cette toile a réduit de 0^m,005 la largeur du canal qui n'était plus que de 0^m,095 : les angles étaient en outre légèrement arrondis. (Voir pl. XI.)

[A] PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE. (Série n° 28.)

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.						
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.c.,000298.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m.c.,000926.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.c.,001625.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.c.,002224.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.c.,003120.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0m.c.,003991.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0m.c.,004308.
1	0	0	0,102	0,013	0,027	0,029	0,033	0,033	0,040	0,040
2	0,497	0,002	0,100	0,010	0,023	0,032	0,035	0,041	0,048	0,044
3	1,006	0,004	0,101	0,011	0,023	0,032	0,037	0,044	0,053	0,045
4	1,555	0,007	0,100	0,010	0,021	0,031	0,038	0,047	0,060	0,051
5	1,995	0,010	0,099	0,010	0,024	0,035	0,044	0,053	0,062	0,054
6	2,504	0,012	0,100	0,012	0,026	0,037	0,045	0,057	0,067	0,065
7	3,000	0,014	0,100	0,010	0,025	0,035	0,044	0,054	0,062	0,070
8	3,497	0,016	0,100	0,012	0,025	0,036	0,045	0,055	0,065	0,065
9	4,009	0,019	0,099	0,011	0,025	0,036	0,044	0,055	0,060	0,064
10	4,506	0,021	0,099	0,011	0,024	0,034	0,042	0,052	0,061	0,065
11	5,004	0,024	0,099	0,010	0,021	0,033	0,041	0,051	0,058	0,062
12	5,512	0,028	0,098	0,012	0,022	0,031	0,038	0,049	0,061	0,066
13	6,010	0,030	0,100	0,011	0,022	0,034	0,041	0,051	0,063	0,067
14	6,502	0,032	0,099	0,009	0,022	0,032	0,041	0,052	0,061	0,066
15	7,001	0,034	0,100	0,010	0,023	0,033	0,043	0,053	0,063	0,065
16	7,511	0,037	0,101	0,012	0,023	0,035	0,043	0,053	0,063	0,064
17	8,011	0,039	0,100	0,009	0,022	0,034	0,042	0,052	0,063	0,068
18	8,517	0,042	0,098	0,011	0,024	0,036	0,043	0,053	0,063	0,066
19	9,012	0,044	0,098	0,012	0,024	0,033	0,040	0,050	0,060	0,064
20	9,510	0,046	0,099	0,010	0,022	0,033	0,041	0,053	0,067	0,069
21	10,013	0,048	0,100	0,011	0,023	0,036	0,042	0,057	0,066	0,068
22	10,509	0,050	0,100	0,013	0,025	0,036	0,044	0,056	0,063	0,066
23	11,014	0,052	0,101	0,012	0,025	0,036	0,043	0,054	0,064	0,068
24	11,523	0,053	0,101	0,010	0,021	0,031	0,039	0,051	0,059	0,064
25	12,011	0,055	0,101	0,010	0,020	0,030	0,040	0,050	0,059	0,062
26	12,518	0,058	0,102	0,010	0,023	0,033	0,041	0,051	0,061	0,066
27	13,026	0,061	0,101	0,010	0,023	0,034	0,041	0,052	0,062	0,065
28	13,513	0,065	0,100	0,013	0,028	0,035	0,047	0,057	0,063	0,065
29	14,014	0,067	0,098	0,010	0,021	0,031	0,039	0,046	0,054	0,057
30	14,523	0,072	0,098	0,010	0,020	0,030	0,038	0,052	0,057	0,062
31	15,029	0,076	0,099	0,010	0,021	0,031	0,038	0,047	0,057	0,062
32	15,520	0,079	0,100	0,012	0,025	0,035	0,043	0,055	0,064	0,069
33	16,022	0,081	0,099	0,012	0,026	0,036	0,046	0,055	0,064	0,067
34	16,525	0,083	0,100	0,011	0,024	0,034	0,043	0,052	0,062	0,066
35	17,025	0,085	0,099	0,011	0,024	0,034	0,042	0,054	0,063	0,063
36	17,531	0,088	0,099	0,010	0,023	0,034	0,041	0,051	0,060	0,061
37	18,036	0,090	0,100	0,011	0,023	0,034	0,041	0,053	0,064	0,067
38	18,536	0,093	0,100	0,012	0,023	0,033	0,041	0,050	0,062	0,062
39	19,038	0,096	0,100	0,011	0,020	0,032	0,037	0,048	0,056	0,056

[A] PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE. (Série n° 29.)

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.				
				EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.c.,00063g.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m.c.,001240.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.c.,001955.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.c.,002706.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.c.,004453.
1	0	0	0,102	0,013	0,023	0,026	0,034	0,039
2	0,497	0,007	0,100	0,012	0,018	0,028	0,031	0,036
3	1,006	0,016	0,101	0,011	0,018	0,024	0,032	0,037
4	1,555	0,025	0,100	0,010	0,017	0,024	0,032	0,036
5	1,995	0,032	0,099	0,010	0,018	0,025	0,029	0,036
6	2,504	0,041	0,100	0,011	0,018	0,023	0,030	0,036
7	3,000	0,047	0,100	0,011	0,019	0,025	0,029	0,040
8	3,497	0,055	0,100	0,012	0,019	0,025	0,031	0,040
9	4,009	0,061	0,099	0,011	0,018	0,025	0,031	0,042
10	4,506	0,068	0,099	0,011	0,019	0,025	0,031	0,041
11	5,004	0,076	0,099	0,012	0,019	0,024	0,030	0,042
12	5,512	0,085	0,098	0,011	0,017	0,022	0,030	0,041
13	6,010	0,093	0,100	0,011	0,018	0,026	0,031	0,041
14	6,502	0,100	0,099	0,011	0,017	0,023	0,030	0,042
15	7,001	0,109	0,100	0,010	0,016	0,022	0,027	0,039
16	7,511	0,116	0,101	0,011	0,018	0,025	0,030	0,041
17	8,011	0,123	0,100	0,011	0,016	0,023	0,028	0,041
18	8,517	0,130	0,098	0,012	0,017	0,025	0,030	0,042
19	9,012	0,138	0,098	0,011	0,017	0,023	0,029	0,042
20	9,510	0,144	0,099	0,011	0,019	0,025	0,031	0,042
21	10,013	0,153	0,100	0,011	0,016	0,023	0,029	0,040
22	10,509	0,162	0,100	0,011	0,017	0,022	0,029	0,040
23	11,014	0,169	0,101	0,010	0,016	0,021	0,028	0,039
24	11,523	0,177	0,101	0,011	0,018	0,024	0,029	0,041
25	12,011	0,184	0,101	0,010	0,017	0,022	0,028	0,039
26	12,518	0,192	0,102	0,010	0,016	0,022	0,028	0,038
27	13,026	0,198	0,101	0,011	0,018	0,024	0,028	0,039
28	13,513	0,206	0,100	0,011	0,017	0,023	0,028	0,039
29	14,014	0,213	0,098	0,012	0,017	0,026	0,031	0,042
30	14,523	0,223	0,098	0,011	0,018	0,025	0,031	0,041
31	15,029	0,232	0,099	0,012	0,018	0,024	0,030	0,043
32	15,520	0,240	0,100	0,012	0,019	0,026	0,031	0,043
33	16,022	0,247	0,099	0,012	0,019	0,024	0,029	0,041
34	16,525	0,254	0,100	0,011	0,017	0,024	0,031	0,042
35	17,025	0,261	0,099	0,012	0,019	0,023	0,030	0,041
36	17,531	0,269	0,099	0,012	0,018	0,025	0,030	0,043
37	18,036	0,276	0,100	0,012	0,019	0,025	0,030	0,041
38	18,536	0,283	0,100	0,012	0,020	0,024	0,030	0,042
39	19,038	0,290	0,100	0,012	0,018	0,025	0,030	0,042

[A] PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE. (Série n° 30.)

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.					
				EXPÉRIENCE n° 1. Débit par seconde 0mc,000281.	EXPÉRIENCE n° 2. Débit par seconde 0mc,000451.	EXPÉRIENCE n° 3. Débit par seconde 0mc,000757.	EXPÉRIENCE n° 4. Débit par seconde 0mc,001246.	EXPÉRIENCE n° 5. Débit par seconde 0mc,001885.	EXPÉRIENCE n° 6. Débit par seconde 0mc,004335.
1	0	0	0,093	0,012	0,016	0,022	0,029	0,038	0,064
2	0,497	0,004	0,094	0,013	0,015	0,020	0,029	0,041	0,078
3	1,006	0,010	0,094	0,014	0,018	0,023	0,032	0,041	0,078
4	1,555	0,015	0,095	0,015	0,019	0,024	0,033	0,041	0,080
5	1,995	0,020	0,095	0,013	0,018	0,022	0,030	0,042	0,081
6	2,504	0,025	0,096	0,014	0,019	0,025	0,034	0,045	0,085
7	3,000	0,029	0,096	0,014	0,017	0,024	0,034	0,046	0,085
8	3,497	0,033	0,096	0,014	0,018	0,025	0,035	0,046	0,085
9	4,009	0,036	0,095	0,015	0,019	0,026	0,036	0,047	0,083
10	4,506	0,039	0,094	0,016	0,020	0,026	0,034	0,044	0,081
11	5,004	0,043	0,097	0,015	0,018	0,023	0,031	0,041	0,078
12	5,512	0,048	0,094	0,013	0,017	0,023	0,031	0,040	0,078
13	6,010	0,052	0,097	0,014	0,018	0,024	0,032	0,042	0,080
14	6,502	0,056	0,096	0,015	0,019	0,025	0,032	0,042	0,078
15	7,001	0,061	0,097	0,014	0,018	0,024	0,033	0,044	0,082
16	7,511	0,065	0,097	0,016	0,021	0,028	0,037	0,048	0,087
17	8,011	0,068	0,096	0,015	0,020	0,028	0,036	0,047	0,086
18	8,517	0,073	0,094	0,016	0,020	0,027	0,035	0,046	0,084
19	9,012	0,077	0,095	0,015	0,019	0,025	0,035	0,045	0,081
20	9,510	0,080	0,094	0,015	0,018	0,023	0,032	0,042	0,080
21	10,013	0,085	0,096	0,014	0,019	0,023	0,033	0,043	0,081
22	10,509	0,090	0,095	0,014	0,018	0,024	0,033	0,045	0,083
23	11,014	0,094	0,095	0,015	0,019	0,025	0,033	0,046	0,082
24	11,523	0,097	0,097	0,012	0,017	0,024	0,035	0,046	0,087
25	12,011	0,101	0,097	0,015	0,019	0,027	0,037	0,047	0,087
26	12,518	0,105	0,097	0,016	0,021	0,027	0,037	0,048	0,086
27	13,026	0,108	0,097	0,014	0,019	0,026	0,035	0,047	0,085
28	13,513	0,112	0,096	0,015	0,019	0,025	0,034	0,046	0,082
29	14,014	0,116	0,093	0,014	0,018	0,023	0,034	0,044	0,079
30	14,523	0,121	0,093	0,014	0,017	0,023	0,033	0,043	0,078
31	15,029	0,126	0,093	0,015	0,019	0,025	0,033	0,046	0,081
32	15,520	0,130	0,093	0,016	0,020	0,026	0,036	0,048	0,083
33	16,022	0,133	0,094	0,016	0,020	0,027	0,036	0,046	0,083
34	16,525	0,136	0,095	0,014	0,019	0,024	0,033	0,045	0,080
35	17,025	0,140	0,096	0,014	0,018	0,023	0,033	0,044	0,079
36	17,531	0,144	0,096	0,015	0,019	0,025	0,034	0,045	0,080
37	18,036	0,147	0,095	0,014	0,018	0,024	0,032	0,042	0,077
38	18,536	0,151	0,096	0,013	0,019	0,023	0,034	0,043	0,074
39	19,038	0,155	0,096	0,013	0,019	0,024	0,032	0,041	0,070

[A] PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE. (Série n° 31.)

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	LARGEUR DE LA SECTION à chaque profil.	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
				EXPÉRIENCE n° 1. Débit par seconde 0m,000203.	EXPÉRIENCE n° 2. Débit par seconde 0m,000347.	EXPÉRIENCE n° 3. Débit par seconde 0m,000721.	EXPÉRIENCE n° 4. Débit par seconde 0m,000868.	EXPÉRIENCE n° 5. Débit par seconde 0m,001382.	EXPÉRIENCE n° 6. Débit par seconde 0m,001620.	EXPÉRIENCE n° 7. Débit par seconde 0m,002446.	EXPÉRIENCE n° 8. Débit par seconde 0m,003517.	EXPÉRIENCE n° 9. Débit par seconde 0m,004372.
1	0	0	0,093	0,010	0,014	0,021	0,023	0,029	0,030	0,043	0,048	0,055
2	0,497	0,007	0,094	0,011	0,014	0,020	0,022	0,031	0,032	0,046	0,057	0,064
3	1,006	0,016	0,094	0,011	0,015	0,022	0,024	0,030	0,031	0,044	0,059	0,066
4	1,555	0,025	0,095	0,011	0,016	0,023	0,023	0,031	0,034	0,045	0,057	0,065
5	1,995	0,032	0,095	0,012	0,016	0,021	0,023	0,031	0,033	0,044	0,056	0,066
6	2,504	0,041	0,096	0,011	0,016	0,023	0,024	0,031	0,034	0,046	0,057	0,069
7	3,000	0,047	0,096	0,011	0,015	0,022	0,023	0,032	0,034	0,046	0,060	0,072
8	3,497	0,055	0,096	0,010	0,016	0,022	0,024	0,033	0,035	0,047	0,061	0,074
9	4,009	0,061	0,095	0,011	0,016	0,022	0,024	0,033	0,035	0,049	0,062	0,073
10	4,506	0,068	0,094	0,012	0,015	0,022	0,025	0,032	0,034	0,048	0,061	0,071
11	5,004	0,076	0,097	0,011	0,016	0,021	0,024	0,032	0,034	0,046	0,058	0,068
12	5,512	0,085	0,094	0,011	0,015	0,022	0,022	0,031	0,032	0,044	0,057	0,067
13	6,010	0,093	0,097	0,011	0,014	0,022	0,023	0,032	0,033	0,046	0,057	0,067
14	6,502	0,100	0,096	0,012	0,015	0,022	0,024	0,033	0,035	0,045	0,058	0,067
15	7,001	0,109	0,097	0,010	0,014	0,021	0,021	0,029	0,030	0,042	0,054	0,065
16	7,511	0,116	0,097	0,013	0,018	0,025	0,026	0,035	0,037	0,047	0,062	0,074
17	8,011	0,123	0,096	0,011	0,016	0,024	0,024	0,034	0,036	0,049	0,064	0,074
18	8,517	0,130	0,094	0,012	0,016	0,024	0,025	0,034	0,035	0,048	0,062	0,072
19	9,012	0,138	0,095	0,011	0,017	0,023	0,025	0,033	0,035	0,046	0,059	0,069
20	9,510	0,144	0,094	0,010	0,015	0,021	0,023	0,032	0,033	0,044	0,056	0,065
21	10,013	0,153	0,096	0,011	0,015	0,021	0,023	0,031	0,032	0,044	0,055	0,064
22	10,509	0,162	0,095	0,011	0,016	0,021	0,023	0,032	0,034	0,045	0,058	0,068
23	11,014	0,169	0,095	0,010	0,016	0,022	0,023	0,032	0,036	0,047	0,059	0,067
24	11,523	0,177	0,097	0,010	0,014	0,019	0,019	0,027	0,029	0,039	0,050	0,061
25	12,011	0,184	0,097	0,011	0,015	0,021	0,024	0,031	0,033	0,043	0,057	0,069
26	12,518	0,192	0,097	0,012	0,016	0,023	0,024	0,034	0,035	0,048	0,063	0,072
27	13,026	0,198	0,097	0,011	0,015	0,022	0,024	0,033	0,033	0,045	0,061	0,072
28	13,513	0,206	0,096	0,012	0,017	0,024	0,025	0,035	0,036	0,049	0,063	0,073
29	14,014	0,213	0,093	0,011	0,016	0,023	0,024	0,031	0,033	0,044	0,058	0,068
30	14,523	0,223	0,093	0,011	0,015	0,020	0,022	0,032	0,033	0,045	0,059	0,068
31	15,029	0,232	0,093	0,012	0,016	0,022	0,025	0,033	0,034	0,044	0,057	0,066
32	15,520	0,240	0,093	0,012	0,016	0,023	0,024	0,032	0,033	0,045	0,058	0,069
33	16,022	0,247	0,094	0,012	0,017	0,023	0,025	0,034	0,036	0,047	0,061	0,071
34	16,525	0,254	0,095	0,010	0,015	0,022	0,023	0,031	0,033	0,045	0,058	0,068
35	17,025	0,261	0,096	0,011	0,015	0,021	0,023	0,031	0,033	0,044	0,057	0,067
36	17,531	0,269	0,096	0,011	0,017	0,022	0,024	0,033	0,034	0,047	0,059	0,070
37	18,036	0,276	0,095	0,011	0,015	0,021	0,023	0,032	0,033	0,044	0,058	0,069
38	18,536	0,283	0,096	0,011	0,014	0,021	0,023	0,032	0,033	0,046	0,059	0,068
39	19,038	0,290	0,096	0,011	0,014	0,020	0,022	0,030	0,030	0,043	0,055	0,063

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	OBSERVATIONS.
				SÉRIE N° 28.				
1	0,000298	0,0109	0,00109	0,1218	0,0090	0,273	0,000563	Les calculs ont été faits pour la partie du courant comprise entre les profils n°s 8 et 28.
2	0,000916	0,0232	0,00232	0,1464	0,0158	0,395	0,000478	
3	0,001625	0,0338	0,00338	0,1676	0,0202	0,481	0,000410	
4	0,002224	0,0420	0,00420	0,1840	0,0228	0,530	0,000383	
5	0,003120	0,0527	0,00527	0,2054	0,0257	0,592	0,000344	
6	0,003991	0,0621	0,00621	0,2242	0,0277	0,643	0,000315	
7	0,004308	0,0655	0,00655	0,2310	0,0284	0,658	0,000308	
				SÉRIE N° 29.				
1	0,000639	0,0112	0,00112	0,1224	0,0092	0,571	0,000427	Les calculs ont été faits pour la partie du courant comprise entre les profils n°s 9 et 39.
2	0,001240	0,0177	0,00177	0,1354	0,0131	0,701	0,000405	
3	0,001955	0,0239	0,00239	0,1478	0,0162	0,818	0,000367	
4	0,002706	0,0296	0,00296	0,1592	0,0186	0,914	0,000338	
5	0,004453	0,0410	0,00410	0,1820	0,0225	1,086	0,000290	
				SÉRIE N° 30.				
1	0,000281	0,0146	0,00129	0,1116	0,0116	0,218	0,001973	Les calculs ont été faits pour la partie du courant comprise entre les profils n°s 4 et 36.
2	0,000451	0,0188	0,00167	0,1200	0,0139	0,270	0,001546	
3	0,000757	0,0248	0,00223	0,1320	0,0169	0,340	0,001188	
4	0,001246	0,0339	0,00308	0,1502	0,0205	0,405	0,001015	
5	0,001885	0,0447	0,00411	0,1718	0,0239	0,459	0,000921	
6	0,004385	0,0821	0,00766	0,2466	0,0311	0,578	0,000768	
				SÉRIE N° 31.				
1	0,000203	0,0111	0,00097	0,1046	0,0093	0,209	0,003218	Les calculs ont été faits pour la partie du courant comprise entre les profils n°s 6 et 36.
2	0,000347	0,0156	0,00138	0,1136	0,0121	0,251	0,002920	
3	0,000721	0,0221	0,00198	0,1266	0,0156	0,364	0,001793	
4	0,000808	0,0236	0,00212	0,1296	0,0164	0,381	0,001712	
5	0,001382	0,0322	0,00293	0,1468	0,0200	0,472	0,001364	
6	0,001520	0,0338	0,00308	0,1500	0,0205	0,494	0,001282	
7	0,002446	0,0456	0,00420	0,1736	0,0242	0,582	0,001084	
8	0,003517	0,0587	0,00544	0,1998	0,0272	0,647	0,000990	
9	0,004372	0,0690	0,00642	0,2204	0,0291	0,681	0,000955	

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
			SÉRIE N° 28.		
1	"	0,276	"	"	Les vitesses maxima ont été mesurées à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 7 et 25.
2	0,535	0,397	0,742	"	
3	0,617	0,479	0,776	"	
4	0,644	0,531	0,825	"	
5	0,705	0,592	0,840	"	
6	0,745	0,642	0,862	"	
7	0,751	0,656	0,874	"	
			SÉRIE N° 29.		
1	"	0,586	"	"	Les vitesses maxima ont été mesurées à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 9 et 29.
2	0 913	0,717	0,785	"	
3	1,027	0,825	0,803	"	
4	1,087	0,924	0,850	"	
5	1,226	1,097	0,895	"	
			SÉRIE N° 30.		
1	"	0,218	"	"	Les vitesses maxima ont été mesurées à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 10 et 28.
2	"	0,270	"	"	
3	"	0,335	"	"	
4	0,549	0,405	0,737	"	
5	0,572	0,459	0,802	"	
6	0,672	0,569	0,847	"	
			SÉRIE N° 31.		
1	"	0,209	"	"	Les vitesses maxima ont été mesurées à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 9 et 29.
2	"	0,251	"	"	
3	"	0,364	"	"	
4	0,613	0,381	0,622	"	
5	0,712	0,472	0,662	"	
6	0,728	0,494	0,678	"	
7	0,771	0,582	0,756	"	
8	0,816	0,647	0,792	"	
9	0,841	0,681	0,809	"	

SÉRIES N°s 32 ET 33. (Voir p. 110-111, pl. XIII.)

EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU RÉSERVOIR DE GROSBOIS.

Pente longitudinale du fond : $0^m,101$ par mètre pour la série n° 32 ; $0^m,037$ pour la série n° 33. — Figure de la section transversale : trapèze peu différent d'un rectangle, les parois latérales ayant seulement un fruit de $\frac{1}{10}$. — Nature de la paroi : maçonnerie de moellons rejointoyés en ciment. — Direction et intensité du vent : temps calme. — Température de l'eau : 18°. — Date des expériences : 20 mai 1857.

OBSERVATIONS.

Les parois latérales étaient plus unies que le fond, dont les joints étaient en partie dégradés, surtout dans la partie inférieure (pente de $0^m,037$). Le fond était en outre couvert d'un léger dépôt limoneux très-adhérent.

L'eau a été tirée du réservoir de Grosbois à l'aide de quatre orifices en tôle, ayant chacun $0^m,50$ de largeur sur $0^m,50$ de hauteur. L'écoulement s'opérait en mince paroi; la charge était de $1^m,27$ sur le centre des orifices; on a admis pour le coefficient de la dépense applicable à ces orifices le chiffre 0,60, et pour le débit de chacun d'eux $0,60 \times 0,50 \times 0,50 \sqrt{2g \times 1,27} = 0^{m.c}.749$.

La pente était extrêmement régulière; les cotes des profils extrêmes ont seules été rapportées dans le tableau suivant.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL. Expérience n° 1. Débit par seconde 0^mc,749.	Expérience n° 2. Débit par seconde 1^mc,498.	Expérience n° 3. Débit par seconde 2^mc,247.	Expérience n° 4. Débit par seconde 2^mc,996.
			SÉRIE N° 32.			
1	0	0	0,109	0,168	0,217	0,270
2	5,00	"	0,125	0,174	0,230	"
3	10,00	"	0,108	0,182	0,222	0,264
4	15,00	"	0,108	0,163	0,210	"
5	20,00	"	0,113	0,167	0,218	0,255
6	25,00	"	0,107	0,154	0,212	"
7	30,00	"	0,111	0,166	0,218	0,252
8	35,00	"	0,112	0,169	0,212	"
9	40,00	"	0,111	0,175	0,221	0,258
10	45,00	"	0,110	0,170	0,218	"
11	50,00	"	0,111	0,168	0,218	0,256
12	55,00	"	0,110	0,170	0,224	"
13	60,00	"	0,111	0,170	0,215	0,255
14	65,00	"	0,114	0,175	0,225	"
15	70,00	"	0,095	0,161	0,213	0,263
16	73,60	7,416	0,109	0,166	0,214	0,250
			SÉRIE N° 33.			
16	73,60	7,416	0,109	0,166	0,214	0,250
17	78,60	"	0,130	0,192	0,241	"
18	83,60	"	0,130	0,207	0,253	0,284
19	88,60	"	0,128	0,215	0,260	"
20	93,60	"	0,130	0,222	0,273	0,328
21	98,60	"	0,134	0,235	0,278	"
22	103,60	"	0,156	0,243	0,297	0,342
23	108,60	"	0,152	0,236	0,295	"
24	113,60	"	0,160	0,245	0,306	0,351
25	118,60	"	0,160	0,243	0,303	"
26	123,60	"	0,153	0,242	0,299	0,350
27	128,60	"	0,151	0,234	0,302	"
28	133,60	"	0,164	0,250	0,308	0,359
29	138,60	"	0,154	0,240	0,300	"
30	143,60	"	0,157	0,245	0,304	0,352
31	148,60	"	0,147	0,228	0,299	"
32	153,60	"	0,156	0,237	0,300	0,357
33	158,60	"	0,146	0,235	0,295	"
34	163,60	"	0,145	0,233	0,294	0,348
35	168,60	"	0,152	0,240	0,302	"
36	173,60	"	0,146	0,227	0,283	0,359
37	178,60	"	0,149	0,229	0,287	"
38	183,60	"	0,147	0,235	0,294	0,359
39	188,60	"	0,153	0,229	0,293	"
40	193,60	"	0,149	0,235	0,296	0,361
41	198,60	"	0,146	0,236	0,292	"
32	203,60	"	0,150	0,245	0,302	0,362
43	208,60	"	0,145	0,234	0,299	"
44	213,60	"	0,147	0,237	0,301	0,354
45	218,60	"	0,153	0,231	0,298	"
46	223,60	"	0,148	0,233	0,295	0,346
47	228,60	"	0,152	0,236	0,292	"
48	233,60	"	0,155	0,237	0,303	0,364
49	238,60	"	0,143	0,228	0,292	"
50	243,60	"	0,147	0,229	0,295	0,346
51	248,60	"	0,141	0,227	0,292	"
52	253,60	"	0,153	0,239	0,304	0,357
53	258,60	"	0,144	0,231	0,301	"
54	263,60	"	0,152	0,243	0,306	0,363
55	270,20	14,662	0,152	"	"	"

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
			SÉRIE N° 32.				
1	0,749	0,1104	0,1999	2,021	0,0989	3,747	0,000712
2	1,498	0,1672	0,3038	2,134	0,1424	4,931	0,000591
3	2,247	0,2166	0,3946	2,233	0,1767	5,694	0,000550
4	2,996	0,2552	0,4660	2,310	0,2017	6,429	0,000493
			SÉRIE N° 33.				
1	0,749	0,1497	0,2717	2,099	0,1294	2,757	0,000630
2	1,498	0,2351	0,4288	2,270	0 1889	3,494	0,000573
3	2,247	0,2972	0,5439	2,394	0,2272	4,131	0,000493
4	2,996	0,3553	0,6510	2,511	0,2597	4,595	0,000455

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
		SÉRIE N° 32.			
1	5,51	3,765	0,687	5,50	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 8 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 3 et 15.
2	7,05	4,895	0,694	»	
3	7,89	5,734	0,727	»	
4	9,16	6,373	0,696	»	
		SÉRIE N° 33.			
1	3,49	2,744	0,786	3,43	Les vitesses maxima ont été mesurées, savoir : à l'aide du tube jaugeur, au profil n° 27 ; à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 26 et 46.
2	4,55	3,481	0,765	4,58	
3	5,41	4,130	0,763	5,39	
4	6,15	4,597	0,747	»	

SÉRIES N°s 34 ET 35. (Voir p. 113-114, pl. XIII.)

EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE DÉCHARGE DU BIEF N° 52.

Pente longitudinale du fond : série n° 34, $0^m,0146$ par mètre; série n° 35, $0^m,0142$ par mètre. — Figure de la section transversale : trapèze de de $1^m,80$ à 2 mètres de largeur au plafond; talus de 3 mètres de base environ pour 2 mètres de hauteur. — Nature de la paroi : perré en moellons posés à sec. — Direction et intensité du vent : temps à peu près calme. — Température de l'eau : série n° 34, 4°; série n° 35, 10°. — Dates des expériences : série n° 34, 12 février 1857; série n° 35, 1er avril 1857.

OBSERVATIONS.

Les talus de la rigole étaient revêtus d'un perré en moellons posés à sec; ce perré, dans un état de conservation médiocre, était presque complétement recouvert de mousse et d'herbes lorsque l'on a exécuté les expériences de la série n° 34; il a été gratté et nettoyé avec soin avant de procéder aux expériences de la série n° 35.

L'eau était tirée du canal de Bourgogne, à l'aide de deux vannes en bois de $0^m,90$ de largeur chacune, dont la levée a été réglée ainsi qu'il suit :

Expérience n° 1. Une seule vanne levée de $0^m,28$;
——— n° 2. Les deux vannes levées de $0^m,28$;
——— n° 3. Les deux vannes levées de $0^m,59$;
——— n° 4. Une vanne levée de $0^m,59$ et l'autre de $1^m,18$;
——— n° 5. Une vanne levée de $1^m,15$ et l'autre de $1^m,19$.

Le débit de chaque vanne a été calculé à l'aide de la formule $m\sqrt{2gc}$; c étant la charge sur le centre; m un coefficient que l'on a supposé égal à 0,67, pour une levée de $0^m,28$, à 0,64 pour une levée de $0^m,59$, et à 0,62 pour une levée de $1^m,18$. Ces valeurs de m ont été déterminées par des expériences spéciales faites en 1855 sur les vannes des écluses du canal de Bourgogne. Une foule de circonstances accidentelles peuvent d'ailleurs faire varier ce coefficient de deux ou trois centièmes.

[A] PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

Numéro de chaque profil.	Distance à l'origine.	Série n° 34. Cotes de nivellement du fond (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	Série n° 34. Profondeur du courant à chaque profil prise sur l'axe de la rigole. Expérience n° 1. Débit par seconde $1^{mc},056$.	Expérience n° 2. Débit par seconde $2^{mc},101$.	Expérience n° 3. Débit par seconde $3^{mc},928$.	Expérience n° 4. Débit par seconde $5^{mc},730$.	Expérience n° 5. Débit par seconde $6^{mc},995$.	Série n° 35. Cotes de nivellement du fond (le profil n° 1 étant pris pour point de départ.	Série n° 35. Profondeur du courant à chaque profil prise sur l'axe de la rigole. Expérience n° 1. Débit par seconde $1^{mc},053$.	Expérience n° 2. Débit par seconde $2^{mc},076$.	Expérience n° 3. Débit par seconde $3^{mc},933$.	Expérience n° 4. Débit par seconde $5^{mc},521$.	Expérience n° 5. Débit par seconde $6^{mc},904$.
1	58,30	0	0,435	0,541	0,702	0,805	0,861		0,317	0,428	0,527	0,610	0,683
2	68,35	0,110	0,438	0,547	0,752	0,864	0,918	0,110	0,365	0,503	0,613	0,683	0,757
3	78,42	0,167	0,371	0,492	0,610	0,753	0,801	0,196	0,267	0,373	0,541	0,634	0,702
4	88,12	0,289	0,333	0,447	0,605	0,752	0,814	0,337	0,271	0,376	0,539	0,633	0,689
5	98,27	0,481	0,366	0,422	0,588	0,727	0,785	0,491	0,261	0,389	0,517	0,607	0,659
6	108,32	0,616	0,370	0,467	0,621	0,759	0,834	0,623	0,262	0,356	0,501	0,613	0,678
7	118,47	0,787	0,451	0,545	0,746	0,835	0,871	0,796	0,302	0,432	0,577	0,660	0,741
8	128,57	0,860	0,335	0,472	0,664	0,798	0,842	0,829	0,260	0,370	0,550	0,634	0,650
9	138,47	1,047	0,352	0,481	0,642	0,751	0,827	1,050	0,265	0,365	0,538	0,620	0,674
10	148,60	1,215	0,304	0,431	0,586	0,693	0,746	1,191	0,258	0,377	0,523	0,623	0,682

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE

POUR LA PARTIE DU COURANT COMPRISE ENTRE LES PROFILS N°s 3 ET 9.

[B]

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT PAR SECONDE Q.	PROFONDEUR MOYENNE h.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$
			SÉRIE N° 34.				
1	1,056	"	0,8261	3,1671	0,2608	1,278	0,002331
2	2,101	"	1,1988	3,6194	0,3312	1,753	0,001574
3	3,928	"	1,7893	4,2449	0,4215	2,195	0,001277
4	5,720	"	2,2700	4,6971	0,4833	2,520	0,001111
5	6,995	"	2,5517	4,9436	0,5162	2,741	0,001003
			SÉRIE N° 35.				
1	1,053	"	0,6108	2,8486	0,2144	1,724	0,001024
2	2,076	"	0,9259	3,2647	0,2836	2,242	0,000801
3	3,933	"	1,4431	3,8585	0,3740	2,725	0,000715
4	5,521	"	1,7905	4,2142	0,4249	3,084	0,000635
5	6,904	"	2,0109	4,4253	0,4544	3,433	0,000547

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS ET DU TUBE JAUGEUR.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	FLOTTEURS. VITESSE MOYENNE dans la portion du courant parcourue par les flotteurs U'.	FLOTTEURS. RAPPORT $\frac{U'}{V}$	TUBE JAUGEUR. VITESSE MAXIMA observée V'.	OBSERVATIONS.
		SÉRIE N° 34.			
1	1,952	1,278	0,655	"	Les vitesses maxima ont été mesurées à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 3 et 9.
2	2,874	1,753	0,610	"	
3	3,345	2,195	0,656	"	
4	3,644	2,520	0,692	"	
5	3,800	2,741	0,721	"	
		SÉRIE N° 35.			
1	2,547	1,724	0,677	"	Les vitesses maxima ont été mesurées à l'aide des flotteurs, entre les profils n°s 3 et 9.
2	3,143	2,242	0,713	"	
3	3,766	2,725	0,723	"	
4	4,049	3,084	0,762	"	
5	4,478	3,433	0,767	"	

SÉRIES Nos 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 ET 43. (Voir p. 114-120, pl. XIV.)

EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE CHAZILLY.

Pente longitudinale du fond : voir le profil en long général, pl. XIV. — Figure de la section transversale et nature de la paroi : voir pour chaque série les observations particulières contenues dans le tableau A ci-après. — Direction et intensité du vent : temps généralement calme ; la direction du vent, relativement au courant, était du reste très-variable, suivant les nombreux détours de la rigole. — Température de l'eau : 26°. — Dates des expériences : 4 août 1859, pour l'expérience n° 1 de toutes les séries ; 9 août 1859, pour l'expérience n° 2 de toutes les séries ; 11 août 1859, pour l'expérience n° 3 de toutes les séries ; 12 août 1859, pour l'expérience n° 4 de toutes les séries.

NIVELLEMENT DE LA SURFACE DE L'EAU ET PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO ET DISTANCE de chaque profil à l'extrémité amont de la rigole.		COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (celle du profil n° 1, pris pour point de départ, étant supposée de 7 mètres).	EXPÉRIENCE N° 1.		EXPÉRIENCE N° 2.		EXPÉRIENCE N° 3.		EXPÉRIENCE N° 4.		OBSERVATIONS.
N°	Distance.		Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	
1	0	7,000	"	"	"	"	"	"	"	"	
2	100	6,965	6,315	0,650	6,135	0,830	6,025	0,940	5,940	1,025	1re SECTION. — Série n° 36. (Voir pl. XIV, fig. 6.) Rigole en terre : le fond et les talus étaient recouverts d'herbes sur beaucoup de points.
3	200	7,020	6,350	0,670	6,180	0,840	6,070	0,950	5,975	1,045	
4	300	7,065	6,425	0,640	6,255	0,810	6,125	0,940	6,055	1,010	
5	400	7,085	6,475	0,610	6,285	0,800	6,185	0,900	6,090	0,995	
6	500	7,115	6,525	0,590	6,335	0,780	6,245	0,870	6,155	0,960	
7	600	7,135	6,605	0,530	6,435	0,700	6,325	0,810	6,240	0,895	
8	700	7,270	6,700	0,570	6,540	0,730	6,410	0,860	6,320	0,950	
9	800	7,245	6,775	0,470	6,595	0,650	6,485	0,760	6,400	0,845	
10	900	7,400	6,840	0,560	6,650	0,750	6,545	0,855	6,455	0,945	
11	1,000	7,445	6,925	0,520	6,705	0,740	6.605	0,840	6,500	0,945	
12	1,100	7,410	6,930	0,480	6,790	0,620	6,620	0,790	6,520	0,890	Cette partie de la rigole renfermait beaucoup d'herbes.
13	1,200	7,595	6,935	0,660	6,775	0,820	6,645	0,950	6,565	1,030	
14	1,300	7,515	7,065	0,450	6,895	0,620	6,775	0,740	6,695	0,820	
15	1,400	7,655	7,145	0,510	6,965	0,690	6,845	0,810	6,745	0,910	
16	1,500	7,725	7,185	0,540	7,005	0,720	6,875	0,850	6,805	0,920	
17	1,600	7,705	7,195	0,510	7,025	0,680	6,895	0,810	6,815	0,890	2e SECTION. — Série n° 37. (Voir pl. XIV, fig. 7.) Rigole en terre : terrain pierreux, mais peu d'herbes sur les parois.
18	1,700	7,765	7,255	0,510	7,095	0,670	6,965	0,800	6,885	0,880	
19	1,800	7,775	7,325	0,450	7,165	0,610	7,045	0,730	6,965	0,810	
20	1,900	7,885	7,445	0,440	7,285	0,600	7,165	0,720	7,070	0,815	
21	2,000	7,940	7,470	0,470	7,330	0,610	7,220	0,720	7,135	0,805	

NUMÉRO et distance de chaque profil à l'extrémité amont de la rigole.		Cotes de nivellement du fond (celle du profil n° 1, pris pour point de départ, étant supposée de 7 mètres).	Expérience n° 1.		Expérience n° 2.		Expérience n° 3.		Expérience n° 4.		Observations.
N°	Distance.		Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	
22	2,100	8,060	7,610	0,450	7,430	0,630	7,340	0,720	7,265	0,795	
23	2,200	8,040	7,670	0,370	7,510	0,530	7,410	0,630	7,320	0,720	
24	2,300	8,255	7,855	0,400	7,665	0,590	7,545	0,710	7,495	0,760	
25	2,400	8,350	7,880	0,470	7,690	0,660	7,620	0,730	7,565	0,785	
26	2,500	8,460	7,980	0,480	7,820	0,640	7,740	0,720	7,680	0,780	
27	2,600	8,715	8,275	0,440	8,095	0,620	7,980	0,730	7,915	0,800	
28	2,700	8,830	8,350	0,430	8,180	0,650	8,040	0,790	7,945	0,885	
29	2,800	8,835	8,385	0,450	8,265	0,570	8,095	0,740	8,015	0,820	
30	2,900	8,970	8,540	0,430	8,390	0,580	8,280	0,690	8,200	0,770	3e section. — Série n° 38. (Voir pl. XIV, fig. 8.) Rigole en terre dans des conditions analogues à celles de la section précédente; le terrain était toutefois un peu plus pierreux.
31	3,000	9,025	8,625	0,400	8,455	0,570	8,355	0,670	8,260	0,765	
32	3,100	9,150	8,680	0,470	8,530	0,620	8,420	0,730	8,340	0,810	
33	3,200	9,245	8,715	0,530	8,565	0,680	8,460	0,785	8,385	0,860	
34	3,300	9,160	8,830	0,330	8,680	0,480	8,575	0,585	8,480	0,680	
35	3,400	9,480	8,970	0,510	8,810	0,670	8,650	0,830	8,575	0,905	
36	3,500	9,515	9,055	0,460	8,915	0,600	8,790	0,725	8,705	0,810	
37	3,600	9,710	9,260	0,450	9,080	0,630	8,925	0,785	8,855	0,855	
38	3,700	9,510	9,365	0,445	9,165	0,645	9,025	0,785	8,915	0,895	
39	3,749 30	9,835	9,706	0,129	9,624	0,211	9,561	0,274	9,520	0,315	Extrémité amont de la rigole murée du Tillot.
40	3,760	9,916	9,763	0,153	9,682	0,234	9,623	0,293	9,557	0,359	
41	3,770	9,996	9,843	0,153	9,757	0,239	9,687	0,309	9,634	0,362	
42	3,780	10,077	9,914	0,163	9,835	0,242	9,760	0,317	9,713	0,364	
43	3,790	10,158	9,999	0,159	9,915	0,243	9,851	0,307	9,793	0,365	
44	3,800	10,239	10,088	0,151	10,007	0,232	9,942	0,297	9,883	0,356	
45	3,810	10,319	10,169	0,150	10,084	0,235	10,022	0,297	9,963	0,356	
46	3,820	10,400	10,248	0,152	10,161	0,239	10,096	0,304	10,037	0,363	
47	3,830	10,481	10,326	0,155	10,238	0,243	10,170	0,311	10,108	0,373	4e section. — Série n° 39.) (Voir pl. XIV, fig. 9) Rigole en maçonnerie du Tillot. Section extrêmement régulière : les parois sont formées par des moellons de grand échantillon, piqués avec soin et pouvant être assimilés à la pierre de taille.
48	3,840	10,561	10,408	0,153	10,322	0,239	10,255	0,306	10,194	0,367	
49	3,850	10,642	10,487	0,155	10,401	0,241	10,337	0,305	10,276	0,366	
50	3,860	10,723	10,577	0,146	10,489	0,234	10,424	0,299	10,364	0,359	
51	3,870	10,803	10,650	0,153	10,561	0,242	10,496	0,307	10,436	0,367	
52	3,880	10,884	10,728	0,156	10,643	0,241	10,574	0,310	10,513	0,371	
53	3,890	10,965	10,812	0,153	10,726	0,239	10,657	0,308	10,596	0,369	
54	3,900	11,046	10,897	0,149	10,810	0,236	10,745	0,301	10,683	0,363	
55	3,910	11,126	10,962	0,164	10,878	0,248	10,807	0,319	10,742	0,384	
56	3,920	11,207	11,064	0,143	10,976	0,231	10,905	0,302	10,843	0,364	
57	3,930	11,288	11,137	0,151	11,047	0,241	10,984	0,304	10,924	0,364	
58	3,940	11,368	11,220	0,148	11,135	0,233	11,068	0,300	11,009	0,359	Extrémité aval de la rigole murée du Tillot : le courant y formait un ressaut violent.
59	3,947 30	11,433	11,284	0,149	11,164	0,269	11,053	0,380	10,998	0,445	
			11,183	0,250	11,013	0,420	10,938	0,495	10,833	0,600	

NUMÉRO et distance de chaque profil à l'extrémité amont de la rigole.		Cotes de nivellement du fond (celle du profil n° 1, pris pour point de départ, étant supposée de 7 mètres).	Expérience n° 1.		Expérience n° 2.		Expérience n° 3.		Expérience n° 4.		Observations.
N°	Distance.		Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	
60	4,000	11,760	11,250	0,510	11,020	0,740	10,945	0,815	10,850	0,910	5e section. — Série n° 40. (Voir pl. XIV, fig. 10.) Rigole ouverte dans un terrain rocheux; l'un des talus était défendu par des enrochements; très-peu d'herbes.
61	4,100	11,840	11,330	0,510	11,135	0,705	11,030	0,810	10,940	0,900	
62	4,200	11,965	11,435	0,530	11,215	0,750	11,120	0,845	11,030	0,935	
63	4,300	12,010	11,490	0,520	11,305	0,705	11,195	0,815	11,115	0,895	
64	4,400	12,140	11,580	0,560	11,395	0,745	11,290	0,850	11,215	0,925	
65	4,500	12,200	11,680	0,520	11,500	0,700	11,390	0,810	11,305	0,895	
66	4,600	12,275	11,825	0,450	11,595	0,680	11,500	0,775	11,425	0,850	
67	4,700	12,325	11,905	0,420	11,725	0,600	11,615	0,710	11,525	0,800	
68	4,800	12,395	11,915	0,480	11,755	0,640	11,635	0,760	11,555	0,840	
69	4,900	12,400	12,020	0,380	11,830	0,570	11,725	0,675	11,660	0,740	
70	5,000	12,585	12,145	0,440	11,955	0,630	11,835	0,750	11,750	0,835	
71	5,100	12,700	12,210	0,490	12,010	0,690	11,890	0,810	11,800	0,900	6e section. — Série n° 41. (Voir pl. XIV, fig. 11.) Rigole en terre, dans des conditions analogues à celles de la 2e section.
72	5,200	12,735	12,245	0,490	12,045	0,690	11,935	0,800	11,840	0,895	
73	5,300	12,845	12,285	0,560	12,095	0,750	11,980	0,865	11,885	0,960	
74	5,400	12,815	12,335	0,480	12,135	0,680	12,025	0,790	11,930	0,885	
75	5,500	12,885	12,375	0,510	12,185	0,700	12,080	0,805	11,970	0,915	
76	5,600	12,945	12,431	0,514	12,236	0,709	12,120	0,825	12,025	0,920	
77	5,700	12,960	12,480	0,480	12,275	0,685	12,165	0,795	12,070	0,890	
78	5,800	13,050	12,515	0,535	12,330	0,720	12,210	0,840	12,110	0,940	
79	5,900	13,110	12,560	0,550	12,370	0,740	12,255	0,855	12,160	0,950	
80	6,000	13,095	12,605	0,490	12,425	0,670	12,305	0,790	12,205	0,890	
81	6,100	13,105	12,635	0,470	12,450	0,655	12,335	0,770	12,235	0,870	
81	6,100	13,105	12,635	0,470	12,450	0,655	12,335	0,770	12,235	0,870	7e section. — Série n° 42. (Voir pl. XIV, fig. 12.) Rigole murée du Rousset : le fond est en terre; la paroi droite est formée par un mur presque vertical, en maçonnerie à mortier; la paroi gauche, par un perré à pierres sèches plus incliné; pas d'herbes.
82	6,200	13,130	12,685	0,445	12,495	0,635	12,380	0,750	12,285	0,845	
83	6,300	13,070	12,735	0,335	12,540	0,530	12,425	0,645	12,330	0,740	
84	6,400	13,155	12,795	0,360	12,605	0,550	12,475	0,680	12,380	0,775	
85	6,500	13,265	12,845	0,420	12,630	0,635	12,520	0,745	12,430	0,835	
85	6,500	13,265	12,845	0,420	12,630	0,635	12,520	0,745	12,430	0,835	8e section. — Série n° 43. (Voir pl. XIV, fig. 13.) Rigole en terre : fond et talus en partie recouverts d'herbes, comme pour la 1re section.
86	6,600	13,425	12,885	0,540	12,680	0,745	12,565	0,860	12,470	0,955	
87	6,700	13,475	12,925	0,550	12,725	0,750	12,600	0,875	12,495	0,980	
88	6,800	13,505	12,985	0,520	12,780	0,725	12,660	0,845	12,535	0,970	
89	6,900	13,615	13,030	0,585	12,825	0,790	12,710	0,905	12,610	1,005	
90	7,000	13,565	13,055	0,510	12,865	0,700	12,755	0,810	12,655	0,910	
91	7,100	13,630	13,065	0,565	12,885	0,745	12,775	0,855	12,680	0,950	
92	7,200	13,635	13,075	0,610	12,890	0,795	12,785	0,900	12,685	1,000	
93	7,300	13,660	13,100	0,560	12,920	0,740	12,810	0,850	12,715	0,945	
94	7,400	13,825	13,125	0,700	12,950	0,875	12,845	0,980	12,765	1,060	
95	7,500	13,795	13,145	0,650	12,985	0,810	12,880	0,915	12,790	1,005	
96	7,600	13,835	13,175	0,660	13,025	0,810	12,920	0,915	12,835	1,000	

[B] CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE.

NUMÉROS des expériences.	PENTE PAR MÈTRE I.	DÉBIT par SECONDE Q.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U^2}$	OBSERVATIONS.
			SÉRIE N° 36.					
1	0,000678	0,334	1,204	3,474	0,3466	0,277	0,003053	Les pentes inscrites dans la deuxième colonne du tableau sont les pentes à la surface de l'eau, calculées pour chaque expérience entre les points suivants :
2	0,000633	0,725	1,852	4,281	0,4326	0,391	0,001787	
3	0,000644	1,037	2,343	4,760	0,4922	0,443	0,001618	
4	0,000622	1,363	2,702	5,098	0,5300	0,504	0,001296	
			SÉRIE N° 37.					
1	0,000792	0,331	0,879	3,010	0,2920	0,376	0,001633	Série n° 36, entre les profils nos 2 et 11.
2	0,000808	0,702	1,382	3,764	0,3672	0,508	0,001150	
3	0,000858	0,996	1,802	4,202	0,4288	0,553	0,001204	Série n° 37, entre les profils nos 17 et 23.
4	0,000842	1,297	2,130	4,483	0,4751	0,609	0,001079	
			SÉRIE N° 38.					Série n° 38, entre les profils nos 29 et 36.
1	0,000957	0,327	0,862	2,952	0,2920	0,379	0,001942	Série n° 39, entre les profils nos 42 et 57.
2	0,000929	0,680	1,311	3,641	0,3601	0,519	0,001243	
3	0,000993	0,955	1,742	4,067	0,4283	0,548	0,001415	Série n° 40, entre les profils nos 60 et 67.
4	0,000986	1,231	2,063	4,396	0,4693	0,597	0,001300	
			SÉRIE N° 39.					Série n° 41, entre les profils nos 70 et 81.
1	0,0081	0,326	0,1867	1,5082	0,1238	1,746	0,000329	Série n° 42, entre les profils nos 81 et 85.
2	0,0081	0,671	0,2927	1,6806	0,1742	2,293	0,000268	
3	0,0081	0,939	0,3764	1,8148	0,2074	2,495	0,000270	Série n° 43, entre les profils nos 85 et 90.
4	0,0081	1,205	0,4520	1,9348	0,2336	2,666	0,000266	
			SÉRIE N° 40.					La longueur de la rigole sur laquelle on opérait étant très-considérable, on n'a pas tenu compte (sauf pour la série n° 39) des millimètres dans la détermination du profil en long dont les ordonnées ne sont calculées qu'à un centimètre près. Après avoir relevé le profil en long tout entier, on a choisi les sections de la rigole dans lesquelles l'écoulement paraissait le plus régulier et n'était pas troublé, soit par les herbes ou les dépôts existant dans le lit, soit par la présence des ponts et autres ouvrages d'art de la rigole, etc.
1	0,000936	0,321	0,975	3,043	0,3204	0,329	0,002767	
2	0,000936	0,666	1,596	3,830	0,4167	0,417	0,002240	
3	0,000957	0,931	1,959	4,231	0,4630	0,475	0,001962	
4	0,000964	1,194	2,289	4,593	0,4984	0,522	0,001766	
			SÉRIE N° 41.					
1	0,000445	0,307	1,047	3,291	0,3181	0,293	0,001647	
2	0,000450	0,650	1,684	4,005	0,4205	0,386	0,001270	
3	0,000455	0,908	2,125	4,446	0,4780	0,427	0,001191	
4	0,000441	1,162	2,528	4,839	0,5224	0,460	0,001090	
			SÉRIE N° 42.					
1	0,000525	0,299	0,973	3,195	0,3045	0,307	0,001693	
2	0,000450	0,640	1,515	3,643	0,4159	0,422	0,001049	
3	0,000462	0,895	1,858	3,964	0,4687	0,482	0,000933	
4	0,000487	1,144	2,150	4,232	0,5080	0,530	0,000882	
			SÉRIE N° 43.					
1	0,000420	0,293	1,080	3,330	0,3243	0,271	0,001851	
2	0,000470	0,634	1,766	4,109	0,4298	0,359	0,001567	
3	0,000470	0,885	2,226	4,550	0,4892	0,398	0,001455	
4	0,000450	1,130	2,665	4,960	0,5373	0,424	0,001345	

[C]

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS.

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	VITESSE MOYENNE dans la partie du courant parcourue par les flotteurs U'.	RAPPORT $\frac{U'}{V}$	OBSERVATIONS.
	SÉRIE N° 36.			
1	0,635	0,277	0,436	Les vitesses à la surface pour chacune des séries nos 36, 37, 38, 39, 40 et 41 résultent de la moyenne de plusieurs opérations faites en divers points de la section de la rigole à laquelle correspond cette série; les flotteurs parcouraient à chaque opération un espace de 100 mètres; on en jetait plusieurs à la fois et l'on ne tenait compte que de celui qui parvenait le premier à l'extrémité de l'intervalle de 100 mètres. Les vitesses à la surface pour la série n° 42 ont été empruntées aux expériences faites en 1861, dans la rigole murée de Roussot, à l'aide du moulinet. (Voir série n° 76.)
2	0,756	0,391	0,515	
3	0,819	0,443	0,541	
4	0,893	0,504	0,566	
	SÉRIE N° 37.			
1	0,570	0,376	0,660	
2	0,815	0,508	0,623	
3	0,916	0,553	0,604	
4	0,951	0,609	0,615	
	SÉRIE N° 38.			
1	0,643	0,379	0,589	
2	0,790	0,519	0,657	
3	0,930	0,548	0,589	
4	0,982	0,597	0,608	
	SÉRIE N° 39.			
1	2,217	1,746	0,788	
2	2,835	2,293	0,808	
3	3,075	2,495	0,811	
4	3,179	2,666	0,838	
	SÉRIE N° 40.			
1	0,651	0,329	0,505	
2	0,796	0,417	0,524	
3	0,884	0,475	0,537	
4	0,948	0,522	0,551	
	SÉRIE N° 41.			
1	0,480	0,293	0,610	
2	0,614	0,386	0,629	
3	0,706	0,427	0,605	
4	0,744	0,460	0,618	
	SÉRIE N° 42.			
1	0,408	0,266	0,652	
2	0,578	0,391	0,676	
3	0,656	0,461	0,703	
4	0,714	0,513	0,718	
	SÉRIE N° 43.			
Les vitesses à la surface n'ont pas été observées.				

SÉRIES Nos 44, 45, 46, 47, 48, 49 et 50. (Voir p. 114-120, pl. XV.)

EXPÉRIENCES SUR LA RIGOLE DE GROSBOIS.

Pente longitudinale du fond : voir le profil en long général (planche XV). — Figure de la section transversale et nature de la paroi : voir pour chaque série les observations particulières contenues dans le tableau A ci-après. — Direction et intensité du vent : temps généralement calme; la direction du vent, relativement au courant, était du reste très-variable suivant les nombreux détours de la rigole. — Température de l'eau : 24°. — Dates des expériences : 16 juillet 1859, pour l'expérience n° 1 de toutes les séries; 13 juillet 1859, pour l'expérience n° 2 de toutes les séries; 19 juillet 1859, pour l'expérience n° 3 de toutes les séries; 21 juillet 1859, pour l'expérience n° 4 de toutes les séries.

NIVELLEMENT DE LA SURFACE DE L'EAU ET PROFONDEURS DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

Numéro et distance de chaque profil au profil n° 1, situé lui-même à 85 mètres en aval du barrage.		Cotes de nivellement du fond (celle du profil n° 3, pris pour point de départ, étant supposée de 10 mètres).	Expérience n° 1.		Expérience n° 2.		Expérience n° 3.		Expérience n° 4.		Observations.
N°	Distance.		Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	
1	0	9,855	9,470	0,385	9,255	0,600	9,085	0,770	8,935	0,920	
2	100	9,950	9,500	0,450	9,280	0,670	9,110	0,840	8,980	0,970	
3	200	10,000	9,515	0,485	9,290	0,710	9,130	0,870	9,000	1,000	1re section. — Série n° 44. (Voir pl. XV, fig. 2.) Le parement est en maçonnerie; quelques joints dégradés çà et là; des pierrailles et de la vase recouvraient le fond sur quelques points; pas d'herbes.
4	300	10,025	9,545	0,480	9,315	0,710	9,180	0,845	9,045	0,980	
5	400	10,120	9,580	0,540	9,355	0,765	9,215	0,905	9,080	1,040	
6	500	10,080	9,605	0,475	9,395	0,685	9,230	0,850	9,090	0,990	
7	600	10,135	9,635	0,500	9,430	0,705	9,265	0,870	9,135	1,000	
8	700	10,150	9,670	0,480	9,470	0,680	9,290	0,860	9,150	1,000	Les talus et le fond de la rigole étaient recouverts d'herbes sur plusieurs points.
9	800	10,185	9,710	0,475	9,500	0,685	9,325	0,860	9,195	0,990	
10	900	10,185	9,790	0,395	9,560	0,625	9,385	0,800	9,265	0,920	
11	1,000	10,365	9,835	0,530	9,615	0,750	9,415	0,950	9,315	1,050	
12	1,083	10,350	9,840	0,510	9,620	0,730	9,440	0,910	9,330	1,020	
13	1,240	10,385	9,875	0,510	9,665	0,720	9,485	0,900	9,385	1,000	
14	1,300	10,390	9,880	0,510	9,680	0,710	9,520	0,870	9,390	1,000	
15	1,400	10,465	9,945	0,520	9,740	0,725	9,575	0,890	9,435	1,030	
16	1,500	10,490	10,010	0,480	9,795	0,695	9,610	0,880	9,460	1,030	
17	1,600	10,600	10,080	0,520	9,845	0,755	9,670	0,930	9,510	1,090	2e section. — Série n° 45. (Voir pl. XV, fig. 3.) Rigole souterraine de Soussey : parement en maçonnerie à mortier plus régulier que celui de la section précédente; les joints ne sont pas dégradés, aucun dépôt n'existe dans la rigole.
18	1,709	10,655	10,155	0,500	9,930	0,725	9,725	0,930	9,575	1,080	
19	5,414	11,685	11,175	0,510	11,065	0,620	10,940	0,745	10,860	0,825	
19	5,414	11,685	11,175	0,510	11,065	0,620	10,940	0,745	10,860	0,825	3e section. — Série n° 47. (Voir pl. XV, fig. 4.) Rigole en maçonnerie de Soussey : cette rigole est tout à fait dans les mêmes conditions que la 1re section.
20	5,847	11,955	11,555	0,400	11,365	0,600	11,235	0,720	11,155	0,800	
21	5,900	11,975	11,585	0,390	11,455	0,520	11,315	0,660	11,235	0,740	
22	6,000	12,085	11,675	0,410	11,585	0,500	11,425	0,660	11,355	0,730	

NUMÉRO et distance de chaque profil au profil n° 1, situé lui-même à 85 mètres en aval du barrage.		Cotes de nivellement du fond (celle du profil n° 3, pris pour point de départ, étant supposée de 10 mètres).	Expérience n° 1.		Expérience n° 2.		Expérience n° 3.		Expérience n° 4.		Observations.
N°	Distance.		Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	
23	6,100	12,330	11,930	0,400	11,780	0,550	11,630	0,700	11,550	0,780	
24	6,200	12,420	11,990	0,430	11,820	0,600	11,690	0,730	11,590	0,830	
25	6,300	12,570	12,030	0,540	11,870	0,700	11,720	0,850	11,640	0,930	4e section. — Série n° 47. (Voir pl. XV, fig. 5.)
26	6,400	12,580	12,100	0,480	11,960	0,620	11,790	0,790	11,690	0,890	Rigole en terre; fond et talus
27	6,500	12,605	12,125	0,480	11,975	0,630	11,815	0,790	11,715	0,890	vaseux couverts d'herbes sur
28	6,600	12,705	12,155	0,550	12,005	0,700	11,855	0 850	11,765	0,940	quelques points.
29	6,700	12,760	12,220	0,540	12,060	0,700	11,910	0,850	11,820	0,940	
30	6,800	12,875	12,255	0,620	12,095	0,780	11,965	0,910	11,895	0,980	
31	6,900	12,935	12,285	0,650	12,145	0,790	12,005	0,930	11,920	1,015	
32	7,000	13,050	12,390	0,660	12,210	0,840	12,050	1,000	11,960	1,090	
33	7,100	13,090	12,410	0,680	12,240	0,850	12,100	0,990	12,000	1,090	
34	7,200	13,110	12,450	0,660	12,280	0,830	12,160	0,950	12,020	1,090	Cette partie de la rigole renfermait beaucoup d'herbes.
35	7,300	13,145	12,495	0,650	12,305	0,840	12,205	0,940	12,055	1,090	
36	7,400	13,160	12,510	0,650	12,330	0,830	12,240	0,920	12,110	1,050	
37	7,500	13,200	12,560	0,640	12,420	0,780	12,290	0,910	12,200	1,000	
38	7,600	13,250	12,620	0,630	12,450	0,800	12,310	0,940	12,250	1,000	
39	7,700	13,265	12,715	0,550	12,565	0,710	12,425	0,840	12,315	0,950	
40	7,800	13,245	12,775	0,470	12,625	0,620	12,465	0,780	12,395	0,850	
41	7,900	13,295	12,815	0,480	12,675	0,620	12,535	0,760	12,415	0,880	
42	8,000	13,335	12,865	0,470	12,725	0,610	12,585	0,750	12,445	0,890	
43	8,100	13,460	12,960	0,500	12,820	0,640	12,650	0,810	12,520	0,940	5e section. — Série n° 48. (Voir pl. XV, fig. 6.)
44	8,200	13,490	12,990	0,500	12,860	0,630	12,690	0,800	12,580	0,910	Rigole en terre dans les mêmes
45	8,300	13,490	13,090	0,400	12,930	0,560	12,750	0,740	12,640	0,850	conditions que la précédente.
46	8,400	13,590	13,120	0,470	12,980	0,610	12,810	0,780	12,680	0,910	
47	8,500	13,630	13,180	0,450	13,010	0,620	12,880	0,750	12,730	0,900	
48	8,600	13,570	13,250	0,320	13,080	0,490	12,930	0,640	12,820	0,750	
49	8,700	13,720	13,270	0,450	13,110	0,610	12,950	0,770	12,830	0,890	
50	8,800	13,650	13,300	0,350	13,140	0,510	13,000	0,650	12,860	0,790	
51	8,900	13,700	13,340	0,360	13,150	0,550	13,010	0,690	12,870	0,830	
52	9,000	13,770	13,350	0,420	13,170	0,600	13,025	0,745	12,885	0,885	
53	9,100	13,880	13,460	0,420	13,280	0,600	13,130	0,750	12,990	0,890	
54	9,200	13,860	13,500	0,360	13,320	0,540	13,155	0,705	13,015	0,845	
55	9,300	13,885	13,525	0,360	13,345	0,540	13,205	0,680	13,055	0,830	
56	9,400	13,970	13,580	0,390	13,410	0,560	13,240	0,730	13,095	0,875	
57	9,500	13,970	13,590	0,380	13,420	0,550	13,255	0,715	13,110	0,860	6e section. — Série n° 49.
58	9,600	13,975	13,605	0,370	13,425	0,550	13,275	0,700	13,125	0,850	(Voir pl. XV, fig. 7).
59	9,700	13,980	13,620	0,360	13,440	0,540	13,295	0,685	13,130	0,850	Rigole en terre; fond et talus
60	9,800	13,955	13,645	0,310	13,465	0,490	13,315	0,640	13,155	0,800	vaseux, mais fort réguliers et com-
61	9,900	14,085	13,675	0,410	13,515	0,570	13,345	0,740	13,210	0,875	plétement dépourvus d'herbes.

NUMÉRO et distance de chaque profil au profil n° 1, situé lui-même à 85 mètres en aval du barrage.		COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (celle du profil n° 3, pris pour point de départ, étant supposée de 10 mètres).	EXPÉRIENCE N° 1.		EXPÉRIENCE N° 2.		EXPÉRIENCE N° 3.		EXPÉRIENCE N° 4.		OBSERVATIONS.
N°	Distance.		Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	Cotes de nivellement de la surface de l'eau à chaque profil.	Profondeur dans l'axe du courant à chaque profil.	
62	10,000	14,180	13,700	0,480	13,540	0,640	13,350	0,830	13,230	0,950	
63	10,100	14,275	13,715	0,560	13,565	0,710	13,375	0,900	13,270	1,005	
64	10,200	14,170	13,750	0,420	13,590	0,580	13,400	0,770	13,290	0,880	
65	10,300	14,320	13,760	0,560	13,620	0,700	13,425	0,895	13,320	1,000	
66	10,400	14,370	13,780	0,590	13,630	0,740	13,470	0,900	13,345	1,025	
67	10,500	14,235	13,795	0,440	13,640	0,595	13,485	0,750	13,365	0,870	
68	10,600	14,320	13,800	0,520	13,650	0,670	13,500	0,820	13,375	0,945	
69	10,700	14,165	13,825	0,340	13,665	0,500	13,525	0,640	13,385	0,780	
70	10,800	14,135	13,905	0,230	13,715	0,420	13,565	0,570	13,435	0,700	
71	10,900	14,230	13,970	0,260	13,790	0,440	13,610	0,620	13,470	0,760	
72	11,000	14,470	14,010	0,460	13 830	0,640	13,645	0,825	13,510	0,960	
73	11,100	14,435	14,025	0,410	13,855	0,580	13,675	0,760	13,535	0,900	
74	11,200	14,455	14,065	0,390	13,895	0,560	13,705	0,750	13,575	0,880	
75	11,300	14,510	14,090	0,420	13,900	0,610	13,720	0,790	13,580	0,930	
76	11,400	14,585	14,115	0,470	13,955	0,630	13,765	0,820	13,635	0,950	7e SECTION. — Série n° 50. (Voir pl. XV, fig. 8.) Rigole en terre dans des conditions analogues à celles des 4e et 5e sections.
77	11,500	14,630	14,140	0,490	13,970	0,660	13,800	0,830	13,640	0,990	
78	11,600	14,670	14,170	0,500	13,990	0,680	13,820	0,850	13,670	1,000	
79	11,700	14,750	14,210	0,540	14,030	0,720	13,850	0,900	13,710	1,040	
80	11,800	14,725	14,245	0,480	14,055	0,670	13,875	0,850	13,750	0,975	
81	11,900	14,750	14,270	0,480	14,095	0,655	13,920	0,830	13,800	0,950	
82	12,000	14,735	14,320	0,415	14,140	0,595	13,975	0,760	13,845	0,890	
83	12,100	14,765	14,335	0,430	14,145	0,620	14,005	0,760	13,865	0,900	
84	12,200	14,880	14,360	0,520	14,160	0,720	14,015	0,865	13,900	0,980	
85	12,300	14,810	14,365	0,445	14,170	0,640	14,025	0,785	13,910	0,900	
86	12,400	14,920	14,395	0,525	14,210	0,710	14,080	0,840	13,970	0,950	
87	12,500	15,010	14,450	0,560	14,260	0,750	14,130	0,880	14,015	0,995	
88	12,600	15,030	14,480	0,550	14,310	0,720	14,220	0,810	14,100	0,930	
89	12,700	14,900	14,560	0,340	14,355	0,545	14,235	0,665	14,120	0,780	
90	12,800	15,100	14,640	0,460	14,425	0,675	14,315	0,785	14,180	0,920	
91	12,900	15,100	14,675	0,425	14,465	0,635	14,360	0,740	14,215	0,885	
92	13,000	15,130	14,730	0,400	14,480	0,650	14,385	0,745	14,230	0,900	
93	13,100	15,215	14,810	0,405	14,535	0,680	14,430	0,785	14,290	0,925	
94	13,200	15,310	14,835	0,475	14,545	0,765	14,480	0,830	14,320	0,990	
95	13,300	15,360	14,840	0,520	14,550	0,810	14,500	0,860	14,360	1,000	
96	13,400	15,325	14,885	0,440	14,595	0,730	14,525	0,800	14,385	0,940	
97	13,600	15,410	14,970	0,440	14,610	0,800	14,580	0,830	14,430	0,980	
98	13,800	15,465	15,040	0,425	14,635	0,830	15,620	0,845	14,465	1,000	
99	14,200	15,555	15,150	0,405	14,675	0,880	14,665	0,890	14,515	1,040	
100	14,600	15,760	15,210	0,550	14,700	1,060	14,705	1,055	14,550	1,210	
101	14,970	15,900	15,235	0,665	14,715	1,185	14,725	1,175	14,560	1,340	

CALCUL DES PRINCIPAUX ÉLÉMENTS DE CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

NUMÉROS des expériences.	PENTE PAR MÈTRE I.	DÉBIT par SECONDE Q.	SECTION ω.	PÉRIMÈTRE MOUILLÉ χ.	RAYON MOYEN $R = \frac{\omega}{\chi}$	VITESSE MOYENNE $U = \frac{Q}{\omega}$	VALEUR DU COEFFICIENT $A = \frac{RI}{U}$	OBSERVATIONS.
				SÉRIE N° 44.				
1	0,000300	0,308	0,903	2,758	0,3274	0,341	0,000844	Les pentes inscrites dans la deuxième colonne du tableau sont les pentes à la surface de l'eau, calculées pour chaque expérience entre les points suivants :
2	0,000350	0,685	1,332	3,170	0,4201	0,514	0,000556	
3	0,000333	0,978	1,672	3,491	0,4790	0,585	0,000462	
4	0,000300	1,303	1,964	3,763	0,5219	0,663	0,000356	
				SÉRIE N° 45.				
1	0,000305	0,308	0,765	2,567	0,2980	0,403	0,000561	Série n° 44, entre les profils n^es 3 et 6.
2	0,000308	0,685	1,182	2,997	0,3944	0,580	0,000362	Série n° 45, entre les profils n^es 18 et 19.
3	0,000331	0,978	1,511	3,333	0,4533	0,647	0,000358	Série n° 46, entre les profils n^es 19 et 20.
4	0,000347	1,303	1,729	3,553	0,4866	0,754	0,000297	
				SÉRIE N° 46.				Série n° 47, entre les profils n^es 23 et 30.
1	0,000648	0,308	0,686	2,547	0,2693	0,449	0,000866	Série n° 48, entre les profils n^es 39 et 49.
2	0,000671	0,685	1,111	2,959	0,3755	0,617	0,000663	Série n° 49, entre les profils n^es 53 et 65.
3	0,000683	0,978	1,369	3,205	0,4271	0,714	0,000572	Série n° 50, entre les profils n^es 73 et 83.
4	0,000683	1,303	1,539	3,366	0,4572	0,847	0,000436	
				SÉRIE N° 47.				
1	0,000464	0,274	1,035	3,301	0,3317	0,250	0,002458	La longueur de la rigole sur laquelle on opérait étant très-considérable, on n'a pas tenu compte des millimètres dans la détermination du profil en long dont les ordonnées ne sont calculées qu'à un centimètre près. Après avoir relevé le profil en long tout entier, on a choisi les sections de la rigole dans lesquelles l'écoulement paraissait le plus régulier et n'était pas troublé, soit par les herbes ou les dépôts existant dans le lit, soit par la présence des ponts et autres ouvrages d'art de la rigole, etc.
2	0,000450	0,644	1,594	3,800	0,4204	0,404	0,001159	
3	0,000479	0,933	2,133	4,300	0,4961	0,437	0,001242	
4	0,000493	1,279	2,492	4,779	0,5215	0,513	0,000976	
				SÉRIE N° 48.				
1	0,000555	0,274	0,936	3,115	0,3005	0,293	0,001946	
2	0,000555	0,644	1,428	3,613	0,3952	0,451	0,001079	
3	0,000525	0,933	1,943	4,085	0,4756	0,480	0,001083	
4	0,000515	1,279	2,403	4,607	0,5216	0,532	0,000948	
				SÉRIE N° 49.				
1	0,000250	0,274	1,015	3,465	0,2929	0,270	0,001005	
2	0,000275	0,644	1,583	3,945	0,4013	0,407	0,000667	
3	0,000246	0,933	2,249	4,712	0,4773	0,415	0,000682	
4	0,000275	1,279	2,863	5,270	0,5433	0,447	0,000749	
				SÉRIE N° 50.				
1	0,000310	0,274	1,100	3,442	0,3196	0,249	0,001597	
2	0,000290	0,644	1,676	3,884	0,4315	0,384	0,000848	
3	0,000330	0,933	2,363	4,703	0,5024	0,395	0,001064	
4	0,000330	1,279	2,974	5,281	0,5631	0,430	0,001005	

VITESSES MAXIMA MESURÉES À L'AIDE DES FLOTTEURS.

[C]

NUMÉROS des expériences.	FLOTTEURS. VITESSE MAXIMA observée V.	VITESSE MOYENNE dans la partie du courant parcourue par les flotteurs U'.	RAPPORT $\frac{U'}{V}$	OBSERVATIONS.
	SÉRIE N° 44.			
1	0,315	0,253	0,803	Les vitesses à la surface pour chacune des séries n°s 48 et 49 résultent de la moyenne de plusieurs opérations faites en divers points de la section de la rigole à laquelle correspond cette série; les flotteurs parcouraient à chaque opération un espace de 100 mètres; on en jetait un certain nombre à la fois, et l'on ne tenait compte que de celui qui parvenait le premier à l'extrémité de l'intervalle de 100 mètres.
2	0,507	0,413	0,814	
3	0,632	0,501	0,793	
4	0,683	0,638	0,934	
	SÉRIE N°s 45, 46 et 47.			
Les vitesses à la surface n'ont pas été observées.				
	SÉRIE N° 48.			Les vitesses à la surface pour la série n° 44 ont été empruntées aux expériences faites en 1861, dans la rigole manrée de Grosbois, à l'aide du moulinet. (Voir série n° 77.)
1	0,567	0,293	0,517	
2	0,663	0,451	0,680	
3	0,748	0,480	0,642	
4	0,771	0,532	0,690	
	SÉRIE N° 49.			
1	0,417	0,270	0,647	
2	0,540	0,407	0,754	
3	0,568	0,415	0,731	
4	0,589	0,447	0,759	
	SÉRIE N° 50.			
Les vitesses à la surface n'ont pas été observées.				

SÉRIES Nos 51 ET 52. (Voir p. 166-170 et pl. XVIII.)

TUYAUX RECTANGULAIRES EN BOIS.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

NUMÉROS des expériences.	DATES DES EXPÉRIENCES.	PERTE DE CHARGE du 1er au 2e manomètre.	du 2e au 3e manomètre.	du 3e au 4e manomètre.	du 4e au 5e manomètre.	DÉBIT par SECONDE.	TEMPÉRATURE de l'eau.
		SÉRIE N° 51.					
1	17 novembre 1857.....	0,005	0,007	0,008	0,006	0,203	7°
2	19 novembre 1857.....	0,009	0,017	0,017	0,014	0,307	7°
3	13 et 14 octobre 1857...	0,018	0,028	0,032	0,025	0,411	6° 5
4	19 novembre 1857.....	0,027	0,045	0,047	0,039	0,515	6° 5
5	12 novembre 1857.....	0,042	0,064	0,071	0,054	0,618	8° 5
6	18 novembre 1857.....	0,049	0,078	0,082	0,067	0,674	7°
7	20 novembre 1857.....	0,057	0,086	0,096	0,073	0,721	5° 5
8	20 novembre 1857.....	0,066	0,100	0,109	0,083	0,777	5° 5
		SÉRIE N° 52.					
1	9 mars 1859.....	0,002	0,006	0,002	0,005	0,054	9°
2	21 avril 1859.....	0,008	0,008	0,008	0,007	0,078	8° 5
3	7 mars 1859.....	0,012	0,014	0,012	0,014	0,100	10°
4	20 avril 1859.....	0,022	0,021	0,020	0,023	0,129	13°
5	8 mars 1859.....	0,027	0,031	0,027	0,032	0,155	10°
6	11 mars 1859.....	0,041	0,050	0,044	0,051	0,191	7°
7	10 mars 1859.....	0,051	0,055	0,054	0,060	0,203	8°
8	14 mars 1859.....	0,068	0,067	0,065	0,076	0,233	10°

SÉRIES N°s 53 ET 54. (Voir SÉRIES N°s 19 et 20; voir également p. 178 et pl. XVIII.)

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 53.....	17 mars 1858.....	0,307	1,530	11°	L'expérience a eu lieu au profil n° 96. — Temps calme.
Série n° 54.....	29 avril 1859.....	0,095	1,319	14°	L'expérience a eu lieu au profil n° 89. — Vent venant de côté.

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU. (Série n° 53.)

[B]

DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
0m,40	0m,37	0m,33	0m,22	0m,11	0	0m,11	0m,22	0m,33	0m,37	0m,40
		À GAUCHE.						À DROITE.		
ORDONNÉES DU FOND.										
0,597	0,597	0,597	0,597	0,598	0,600	0,601	0,601	0,601	0,601	0,601
ORDONNÉES DE LA SURFACE.										
0,347	0,347	0,347	0,347	0,345	0,350	0,347	0,347	0,352	0,352	0,352

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU. (Série n° 54.)

[B]

DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
0m,240	0m,222	0m,198	0m,132	0m,066	0	0m,066	0m,132	0m,198	0m,222	0m,240
		À GAUCHE.						À DROITE.		
ORDONNÉES DU FOND.										
0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600	0,600
ORDONNÉES DE LA SURFACE.										
0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450

SÉRIES N° 55, 56 ET 57. (Voir séries n°s 2, 4 et 5; voir également p. 187 et pl. XIX.)

CANAL RECTANGULAIRE EN CIMENT. — CANAUX RECTANGULAIRES REVÊTUS DE GRAVIER.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des expériences.	DATES des expériences.	DÉBIT par seconde.	VITESSE moyenne.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 55.....	24 octobre 1856.....	1,236	2,509	12°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 59. — Vent venant de côté; faible pour les séries n°s 55 et 56; assez fort pour la sér. n° 57.
Série n° 56.....	14 octobre 1856.....	1,236	1,714	14°5	
Série n° 57.....	27 septembre 1856.....	1,236	1,471	13°	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU.

[B]

DÉSIGNATION des expériences.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	ORDONNÉES DU FOND.										
Série n° 55.....	0,690	0,697	0,698	0,699	0,701	0,704	0,705	0,699	0,698	0,696	0,693
Série n° 56.....	0,704	0,711	0,711	0,712	0,712	0,714	0,712	0,712	0,709	0,709	0,699
Série n° 57.....	0,727	0,732	0,741	0,739	0,732	0,732	0,732	0,723	0,724	0,724	0,728
	ORDONNÉES DE LA SURFACE.										
Série n° 55.....	0,424	0,427	0,425	0,429	0,451	0,435	0,429	0,424	0,411	0,406	0,418
Série n° 56.....	0,310	0,317	0,315	0,314	0,313	0,320	0,318	0,318	0,316	0,312	0,319
Série n° 57.....	0,278	0,280	0,279	0,275	0,277	0,280	0,280	0,278	0,280	0,279	0,277

SÉRIES Nos 58, 59 ET 60. (Voir SÉRIES Nos 9, 10 et 11; voir également p. 188-190 et pl. XIX.)

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 58. — Exp. n° 1.	1er mai 1858.....	0,203	0,730	12°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 184. — Vent fort, venant de côté, surtout pour les expériences nos 1 et 2.
——— Exp. n° 2.	29 avril 1858.....	0,411	0,953	13°	
——— Exp. n° 3.	27 avril 1858.....	0,824	1,248	14°	
——— Exp. n° 4.	24 et 26 avril 1858...	1,236	1,429	16°	
Série n° 59. — Exp. n° 1.	29 avril 1858.....	0,203	1,207	13°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 89. — Vent violent, venant de côté, pour les expériences nos 1 et 2; temps assez calme pour les deux autres.
——— Exp. n° 2.	*Idem*.....	0,411	1,573	14°	
——— Exp. n° 3.	27 avril 1858.....	0,824	2,051	14°	
——— Exp. n° 4.	24 et 26 avril 1858...	1,236	2,318	16°	
Série n° 60. — Exp. n° 1.	26 mai 1858..	0,824	2,297	14°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 346. — Vent assez fort, venant de l'aval, pour l'expérience n° 1, et de l'amont, pour l'expérience n° 2.
——— Exp. n° 2.	25 mai 1858.... ...	1,236	2,571	16°	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,30	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	ORDONNÉES DU FOND.										
Série n° 58.....	0,799	0,798	0,798	0,799	0,798	0,800	0,802	0,802	0,802	0,804	0,806
Série n° 59.....	0,795	0,798	0,795	0,795	0,797	0,795	0,797	0,798	0,796	0,797	0,796
Série n° 60.....	0,805	0,802	0,803	0,799	0,800	0,801	0,802	0,800	0,798	0,799	0,797
	ORDONNÉES DE LA SURFACE.										
Série n° 58. — Expér. n° 1....	0,658	0,658	0,661	0,661	0,661	0,662	0,661	0,661	0,661	0,661	0,661
——— Expér. n° 2....	0,580	0,582	0,582	0,584	0,584	0,585	0,585	0,585	0,585	0,585	0,585
——— Expér. n° 3....	0,476	0,466	0,466	0,468	0,468	0,468	0,468	0,471	0,471	0,471	0,471
——— Expér. n° 4....	0,366	0,366	0,366	0,364	0,364	0,364	0,364	0,364	0,366	0,370	0,370
Série n° 59. — Expér. n° 1....	0,716	0,714	0,714	0,713	0,711	0,711	0,712	0,713	0,710	0,710	0,710
——— Expér. n° 2....	0,671	0,670	0,667	0,666	0,661	0,661	0,662	0,664	0,664	0,668	0,670
——— Expér. n° 3....	0,601	0,601	0,597	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,594	0,592	0,592
——— Expér. n° 4....	0,538	0,538	0,535	0,529	0,535	0,530	0,530	0,520	0,518	0,518	0,518
Série n° 60. — Expér. n° 1....	0,628	0,623	0,618	0,613	0,821	0,621	0,621	0,621	0,621	0,621	0,621
——— Expér. n° 2....	0,560	0,560	0,560	0,560	0,558	0,554	0,561	0,563	0,559	0,558	0,558

SÉRIES N°s 61, 62 ET 63. (Voir séries n°s 12, 13 et 14; voir également p. 191-193 et pl. XX.)

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0^m,01.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des expériences.	DATES des expériences.	DÉBIT par seconde.	VITESSE moyenne.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 61. — Expér. n° 1.	16 février 1859....	0,203	0,643	8°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 184.— Vent d'aval, pour les expériences n°s 1 et 2; temps calme, pour les deux autres.
——— Expér. n° 2.	14 février 1859....	0,411	0,854	9°	
——— Expér. n° 3.	13 février 1859....	0,824	1,109	7°	
——— Expér. n° 4.	11 février 1859. ..	1,236	1,267	7°	
Série n° 62. — Expér. n° 1.	15 janvier 1859...	0,203	0,961	4°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 89. — Temps calme.
——— Expér. n° 2.	14 janvier 1859...	0,411	1,336	5° 5	
——— Expér. n° 3.	13 janvier 1859...	0,824	1,702	5° 5	
——— Expér. n° 4.	10 janvier 1859...	1,236	1,979	4°	
Série n° 63. — Expér. n° 1.	6 mai 1859.....	0,411	1,454	13° 5	Les expériences ont eu lieu au profil n° 346. — Temps calme, pour l'exp. n° 1; vent de côté pour les deux autres.
——— Expér. n° 2.	5 mai 1859.....	0,824	1,925	13° 5	
——— Expér. n° 3.	3 mai 1859.....	1,236	2,199	15°	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des expériences.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0^m,90	0^m,80	0^m,60	0^m,40	0^m,20	0	0^m,20	0^m,40	0^m,60	0^m,80	0^m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	ORDONNÉES DU FOND.										
Série n° 61.....	0,812	0,810	0,810	0,807	0,806	0,807	0,808	0,806	0,806	0,806	0,806
Série n° 62.....	0,582	0,584	0,583	0,582	0,583	0,585	0,583	0,584	0,582	0,583	0,584
Série n° 63.....	0,597	0,596	0,595	0,595	0,594	0,596	0,597	0,597	0,595	0,595	0,595
	ORDONNÉES DE LA SURFACE.										
Série n° 61. — Expér. n° 1...	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647
——— Expér. n° 2...	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563	0,563
——— Expér. n° 3...	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430	0,430
——— Expér. n° 4...	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312	0,312
Série n° 62. — Expér. n° 1...	0,475	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476	0,476
——— Expér. n° 2...	0,427	0,428	0,428	0,428	0,427	0,427	0,427	0,427	0,425	0,427	0,427
——— Expér. n° 3...	0,342	0,340	0,339	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337	0,337
——— Expér. n° 4...	0,268	0,274	0,269	0,267	0,263	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265	0,265
Série n° 63. — Expér. n° 1 ..	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452	0,452
——— Expér. n° 2...	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378	0,378
——— Expér. n° 3...	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310	0,310

SÉRIES Nos 64, 65 ET 66. (Voir séries nos 15, 16 et 17; voir également p. 194-196 et pl. XX.)

CANAUX RECTANGULAIRES EN PLANCHES RECOUVERTES DE LITEAUX ESPACÉS DE 0m,05.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des expériences.	DATES des expériences.	DÉBIT par seconde.	VITESSE moyenne.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 64 — Expér. n° 1.	21 mai 1858.....	0,824	0,856	17°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 184. — Vent de côté pour l'expérience n° 1; temps calme pour l'expér. n° 2.
——— Expér. n° 2.	18 mai 1858.....	1,236	0,948	16°	
Série n° 65. — Expér. n° 1.	11 décembre 1858.	0,203	0,756	7°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 89. — Temps calme.
——— Expér. n° 2.	10 décembre 1858.	0,411	1,000	7° 5	
——— Expér. n° 3.	9 décembre 1858..	0,824	1,295	7° 5	
——— Expér. n° 4.	7 décembre 1858..	1,236	1,511	7°	
Série n° 66. — Expér. n° 1.	21 mai 1858.....	0,824	1,464	17°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 346. — Vent d'amont assez fort.
——— Expér. n° 2.	18 mai 1858.....	1,236	1,675	16°	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des expériences.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	ORDONNÉES DU FOND.										
Série n° 64.....	0,810	0,809	0,809	0,808	0,807	0,806	0,809	0,809	0,807	0,808	0,808
Série n° 65.....	0,690	0,691	0,694	0,689	0,692	0,688	0,687	0,687	0,688	0,685	0,685
Série n° 66.....	0,584	0,581	0,582	0,578	0,579	0,582	0,581	0,579	0,577	0,578	0,576
	ORDONNÉES DE LA SURFACE.										
Série n° 64. — Expér. n° 1...	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319	0,319
——— Expér. n° 2...	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146	0,146
Série n° 65. — Expér. n° 1...	0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,553	0,551	0,551
——— Expér. n° 2...	0,481	0,481	0,481	0,481	0,481	0,481	0,481	0,481	0,479	0,479	0,479
——— Expér. n° 3...	0,368	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366	0,366
——— Expér. n° 4...	0,274	0,273	0,277	0,275	0,276	0,276	0,275	0,275	0,271	0,272	0,273
Série n° 66. — Expér. n° 1...	0,296	0,296	0,296	0,297	0,297	0,294	0,294	0,294	0,294	0,291	0,291
——— Expér. n° 2...	0,211	0,211	0,211	0,209	0,209	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202	0,202

SÉRIE N° 67. (Voir série n° 19; voir également p. 197 et pl. XXI.)

CANAL RECTANGULAIRE EN PLANCHES.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	16 mars 1858.....	0,100	1,084	8°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 104. — Temps calme pour l'expérience n° 1; fort vent de côté pour les expériences n°s 2 et 3.
2	15 mars 1858.....	0,515	1,689	8°	
3	13 mars 1858.....	0,721	1,860	6° 5	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
0m,40	0m,37	0m,33	0m,22	0m,11	0	0m,11	0m,22	0m,33	0m,37	0m,40
À GAUCHE.						À DROITE.				
ORDONNÉES DU FOND.										
0,500	0,499	0,496	0,495	0,498	0,500	0,499	0,502	0,508	0,508	0,509
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 1.										
0,385	0,385	0,385	0,388	0,392	0,390	0,390	0,381	0,381	0,381	0,381
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 2.										
0,119	0,119	0,119	0,116	0,116	0,116	0,116	0,124	0,124	0,124	0,124
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 3.										
0,014	0,014	0,014	0,020	0,013	0,014	0,019	0,017	0,012	0,013	0,013

SÉRIES N°s 68 ET 69. (Voir séries N°s 21 et 22; voir également p. 198-201 et pl. XXI.)

CANAUX TRAPÉZOÏDAUX EN PLANCHES.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 68. — Expér. n° 1.	15 janvier 1859 ...	0,203	0,908	4°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 184. — Temps calme.
——— Expér. n° 2.	14 janvier 1859 ...	0,411	1,118	5° 5	
——— Expér. n° 3.	13 janvier 1859 ...	0,824	1,329	5° 5	
——— Expér. n° 4.	10 janvier 1859 ...	1,236	1,497	4°	
Série n° 69. — Expér. n° 1.	27 juillet 1857....	0,203	1,406	25°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 91. — Vent d'aval assez fort.
——— Expér. n° 2.	25 juillet 1857....	0,411	1,771	25°	
——— Expér. n° 3.	27 juillet 1857....	0,618	1,992	25°	
——— Expér. n° 4.	26 juillet 1857 ...	0,824	2,156	25°	
——— Expér. n° 5.	27 juillet 1857....	1,030	2,281	25°	
——— Expér. n° 6.	25 juillet 1857....	1,236	2,385	25°	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																			
	0m,90	0m,80	0m,70	0m,60	0m,50	0m,40	0m,30	0m,20	0m,10	0	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60	0m,70	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.										À DROITE.								
	ORDONNÉES DU FOND.																		
Série n° 68....	0,400	0,500	0,600	0,700	0,802	0,799	0,800	0,800	0,799	0,800	0,800	0,800	0,800	0,799	0,799	0,700	0,600	0,500	0,400
Série n° 69....	0,803	0,304	0,803	0,803	0,802	0,799	0,799	0,799	0,800	0,800	0,699	0,602	0,502	0,402	0,302	0,202	0,102	"	"
	ORDONNÉES DE LA SURFACE.																		
Série n° 68. Exp. n° 1.	"	"	"	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	0,609	"	"	"
Série n° 68. Exp. n° 2.	"	"	0,509	0,509	0,509	0,509	0,509	0,510	0,510	0,510	0,510	0,510	0,510	0,509	0,508	0,508	0,508	"	"
Série n° 68. Exp. n° 3	0,365	0,365	0,365	0,365	0,365	0,366	0,366	0,366	0,367	0,367	0,367	0,364	0,364	0,364	0,364	0,364	0,365	0,366	0,366
Série n° 68. Exp. n° 4.	0,258	0,258	0,258	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,259	0,260	0,261	0,261	0,261	0,261	0,261	0,258	0,258	0,259	0,259
Série n° 69. Exp. n° 1.	0,644	0,647	0,647	0,647	0,663	0,666	0,666	0,666	0,669	0,674	0,674	"	"	"	"	"	"	"	"
Série n° 69. Exp. n° 2.	0,570	0,570	0,568	0,569	0,578	0,578	0,584	0,589	0,596	0,597	0,596	0,597	"	"	"	"	"	"	"
Série n° 69. Exp. n° 3.	0,509	0,509	0,511	0,511	0,519	0,524	0,524	0,524	0,524	0,517	0,517	0,514	"	"	"	"	"	"	"
Série n° 69. Exp. n° 4	0,455	0,455	0,455	0,462	0,459	0,457	0,455	0,455	0,455	0,459	0,462	0,464	0,464	"	"	"	"	"	"
Série n° 69. Exp. n° 5.	0,406	0,403	0,402	0,406	0,406	0,406	0,400	0,397	0,404	0,409	0,413	0,416	0,419	"	"	"	"	"	"
Série n° 69. Exp. n° 6.	0,353	0,351	0,350	0,353	0,358	0,361	0,361	0,360	0,360	0,361	0,361	0,361	0,361	0,361	"	"	"	"	"

SÉRIE N° 70. (Voir série n° 23; voir également p. 202-203 et pl. XXI.)

CANAL TRIANGULAIRE EN PLANCHES.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des expériences.	DATES des expériences.	DÉBIT par seconde.	VITESSE moyenne.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	15 juillet 1857.....	0,203	1,406	23° 5	Les expériences ont eu lieu au profil n° 91. — Fort vent d'aval, pour les expériences nos 3 et 4; temps calme pour les autres.
2	*Idem*.....	0,411	1,719	23°	
3	16 juillet 1857.....	0,618	1,922	22° 5	
4	16 et 17 juillet 1857.....	0,824	2,084	24°	
5	17 juillet 1857.....	1,030	2,218	23° 5	
6	18 juillet 1857.....	1,236	2,294	24°	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.																		
0m,90	0m,80	0m,70	0m,60	0m,50	0m,40	0m,30	0m,20	0m,10	0	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60	0m,70	0m,80	0m,90
À GAUCHE.										À DROITE.								
ORDONNÉES DU FOND.																		
0	0,100	0,194	0,300	0,400	0,500	0,600	0,700	0,800	0,900	0,800	0,700	0,600	0,500	0,400	0,300	0,200	0,100	0
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 1.																		
"	"	"	"	"	"	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	0,520	"	"	"	"	"	"
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 2.																		
"	"	"	"	"	0,411	0,411	0,411	0,411	0,411	0,411	0,410	0,410	0,410	"	"	"	"	"
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 3.																		
"	"	"	"	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,330	0,335	0,338	0,340	0,340	"	"	"	"
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 4.																		
"	"	"	0,267	0,269	0,269	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,273	0,276	0,276	0,276	"	"	"
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 5.																		
"	"	"	0,220	0,221	0,219	0,220	0,218	0,216	0,214	0,216	0,218	0,220	0,219	0,221	0,220	"	"	"
ORDONNÉES DE LA SURFACE. — Expérience n° 6.																		
"	"	0,166	0,167	0,167	0,167	0,168	0,167	0,167	0,165	0,165	0,165	0,165	0,165	0,163	0,165	0,165	"	"

SÉRIES Nos 71, 72, 73 ET 74. (Voir SÉRIES Nos 24, 25, 26 et 27; voir également p. 204-215 et pl. XXII.)

CANAUX DEMI-CIRCULAIRES.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
Série n° 71. — Expér. n° 1.	15 octobre 1857...	0,203	1,052	13°	
——— Expér. n° 2.	17 octobre 1857...	0,411	1,300	13°	
——— Expér. n° 3.	16 octobre 1857...	0,618	1,534	13°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 191 — Temps calme pour les six premières expériences.
——— Expér. n° 4.	*Idem*.....	0,824	1,676	13°	
——— Expér. n° 5.	17 octobre 1857...	1,030	1,782	12°	Les deux dernières, au profil n° 194. — Fort vent de côté.
——— Expér. n° 6.	13 octobre 1857...	1,133	1,810	13°	
——— Expér. n° 7.	9, 10 et 12 oct. 1857.	1,133	1,786	12° 5	
——— Expér. n° 8.	2 octobre 1857....	1,133	1,786	16°	
Série n° 72. — Expér. n° 1.	17 septembre 1857.	0,203	0,954	18°	Les trois premières expériences ont eu lieu : la 1re, au profil n° 182; la 2e, au profil n° 191; la 3e, au profil n° 182.
——— Expér. n° 2.	18 septembre 1857.	0,411	1,266	18°	
——— Expér. n° 3.	19 septembre 1857.	0,618	1,392	17° 5	Les deux dernières, au profil n° 191. — Fort vent de côté pour les expér. nos 3 et 4; temps assez calme pour les autres.
——— Expér. n° 4.	*Idem*.....	0,824	1,569	17° 5	
——— Expér. n° 5.	16 et 17 sept. 1857.	1,030	1,679	16°	
Série n° 73. — Expér. n° 1.	18 mars 1858.....	0,203	0,966	10° 5	Les expériences ont eu lieu au profil n° 182. — Temps calme pour l'expérience n° 3; vent fort d'amont pour les trois autres.
——— Expér. n° 2.	19 mars 1858.....	0,411	1,230	11°	
——— Expér. n° 3.	24 mars 1858.....	0,824	1,450	11° 5	
——— Expér. n° 4.	25 mars 1858.....	1,236	1,612	12°	
Série n° 74. — Expér. n° 1.	4 novembre 1857..	0,203	0,825	11°	Les expériences ont eu lieu au profil n° 187. — Fort vent de côté pour l'expérience n° 3; temps calme pour les autres.
——— Expér. n° 2.	3 novembre 1857..	0,411	1,028	10° 5	
——— Expér. n° 3.	2 novembre 1857..	0,618	1,162	10° 5	
——— Expér. n° 4.	27 octobre 1857...	0,721	1,229	12° 5	

ORDONNÉES DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

(Ces ordonnées sont prises par rapport à une horizontale passant par le centre.)

[B]

NUMÉROS des expériences.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.												
	0m,60	0m,50	0m,40	0m,30	0m,20	0m,10	0	0m,10	0m,20	0m,30	0m,40	0m,50	0m,60
	À GAUCHE.							À DROITE.					
	SÉRIE N° 71.												
1	"	0,354	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357	0,357	0,361	"
2	"	0,239	0,239	0,239	0,245	0,247	0,247	0,245	0,245	0,247	0,248	0,248	"
3	0,183	0,174	0,174	0,174	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169	0,169
4	0,101	0,101	0,101	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097	0,097
5	0,014	0,014	0,027	0,027	0,037	0,037	0,037	0,037	0,027	0,027	0,027	0,027	0,027
6	+0,028	+0,028	+0,023	+0,013	+0,008	+0,003	+0,007	+0,003	+0,003	+0,003	+0,003	+0,003	+0,006
7	+0,009	+0,007	+0,008	+0,013	+0,023	+0,030	+0,037	+0,021	+0,021	+0,016	+0,011	+0,011	+0,011
8	+0,009	+0,007	+0,008	+0,013	+0,023	+0,030	+0,037	+0,021	+0,021	+0,016	+0,011	+0,011	+0,011
	SÉRIE N° 72.												
1	"	0,340	0,340	0,340	0,340	0,333	0,333	0,335	0,335	0,340	0,340	0,340	"
2	"	0,237	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,239	0,231	0,231	"
3	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145	0,145
4	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	SÉRIE N° 73.												
1	"	0,427	0,427	0,427	0,427	0,427	0,430	0,423	0,429	0,430	0,429	0,429	"
2	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323	0,323
3	0,149	0,149	0,144	0,144	0,144	0,145	0,146	0,141	0,141	0,143	0,144	0,145	0,145
4	0,009	0,006	+0,002	+0,004	+0,004	+0,004	+0,004	+0,003	0,001	0,001	0,001	0,003	0,011
	SÉRIE N° 74.												
1	"	0,290	0,290	0,290	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	0,288	"
2	"	0,155	0,154	0,154	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	0,152	"
3	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043	0,043
4	+0,001	+0,001	+0,001	+0,001	+0,001	+0,001	+0,006	+0,005	0	0	0	+0,003	+0,006

Observation spéciale aux expériences n°s 6, 7 et 8 de la série n° 71; à l'expérience n° 4 de la série n° 73, et à l'expérience n° 4 de la série n° 74 : le niveau de l'eau dépassait sur quelques points l'horizontale passant par le centre : les ordonnées prises au-dessus de cette horizontale sont indiquées par le signe +.

SÉRIE N° 75. (Voir série n° 39; voir également p. 216-217 et pl. XXIII.)

RIGOLE MURÉE DU TILLOT.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des expériences.	DATES des expériences.	DÉBIT par seconde.	VITESSE moyenne.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	4 août 1859	0,326	1,824	26°	Les expériences ont eu lieu vers le milieu de la rigole murée du Tillot. — Temps assez calme.
2	9 août 1859	0,671	2,352	*Id.*	
3	11 août 1859	0,939	2,560	*Id.*	
4	12 août 1859	1,205	2,707	*Id.*	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des expériences.		DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
		0m,60	0m,57	0m,50	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,50	0m,57	0m,60
		à gauche.						à droite.				
ORDONNÉES DU FOND		1,006	1,006	1,004	1,002	1,000	1,000	1,001	0,996	0,992	0,992	0,992
ORDONNÉES DE LA SURFACE.	Expér. n° 1.	0,850	0,852	0,852	0,852	0,852	0,850	0,850	0,855	0,858	0,859	0,859
	Expér. n° 2.	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766	0,766
	Expér. n° 3.	0,692	0,695	0,696	0,696	0,702	0,709	0,704	0,700	0,700	0,700	0,700
	Expér. n° 4.	0,637	0,637	0,637	0,640	0,640	0,642	0,642	0,637	0,636	0,636	0,636

SÉRIE N° 76. (Voir série n° 42; voir également p. 218-219 et pl. XXIII.)

RIGOLE MURÉE DU ROUSSOT.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	26 juin 1861	0,297	0,266	22°	Les expériences ont été faites non loin de l'extrémité aval de la rigole murée. — Temps assez calme.
2	27 juin 1861	0,610	0,391	*Id.*	
3	28 juin 1861	0,890	0,461	*Id.*	
4	29 juin 1861	1,132	0,513	*Id.*	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.															
	À GAUCHE.										O	À DROITE.				
	2m,00	1m,80	1m,60	1m,40	1m,20	1m,00	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20		0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	1m,00
ORDONNÉES DU FOND	0,405	0,568	0,770	0,946	1,110	1,230	1,223	1,220	1,232	1,242	1,240	1,250	1,230	1,231	1,210	1,215
ORDONNÉES DE LA SURFACE. Exp. n° 1.	»	»	»	0,776	0,776	0,776	0,776	0,776	0,776	0,776	0,776	0,775	0,774	0,772	0,772	0,771
Exp. n° 2.	»	»	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,617	0,615	0,614	0,614	0,613	0,611
Exp. n° 3.	»	0,493	0,493	0,493	0,494	0,494	0,494	0,494	0,494	0,494	0,494	0,492	0,492	0,491	0,490	0,489
Exp. n° 4.	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,405	0,404	0,403	0,402	0,400	0,399

SÉRIE N° 77. (Voir SÉRIE N° 44; voir également p. 220-221 et pl. XXIII.)

RIGOLE MURÉE DE GROSBOIS.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	3 juillet 1861.....	0,304	0,253	22°	Les expériences ont été faites vers le milieu de la rigole murée. — Vent soufflant généralement d'amont.
2	4 juillet 1861.....	0,658	0,413	*Id.*	
3	5 juillet 1861.....	0,940	0,501	*Id.*	
4	6 juillet 1861.....	1,296	0,638	*Id.*	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION des EXPÉRIENCES.		DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
		0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
		À GAUCHE.						À DROITE.				
ORDONNÉES DU FOND.....		1,257	1,257	1,322	1,377	1,408	1,415	1,407	1,372	1,350	1,300	1,267
ORDONNÉES DE LA SURFACE.	Expér. n° 1.	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752	0,752
	Expér. n° 2.	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562	0,562
	Expér. n° 3.	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428	0,428
	Expér. n° 4.	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280	0,280

SÉRIES Nos 78 ET 79. (Voir p. 265, pl. XXV.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS DE GONFLEMENT.

Pente longitudinale du fond : 0m,0015 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,960 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur, espacés de 0m,01 pour la série n° 78, et de 0m,05 pour la série n° 79. — Direction et intensité du vent : temps à peu près calme pour la série n° 78, et vent de côté assez fort pour la série n° 79. — Température de l'eau : série n° 78, 7°; série n° 79, 15° 5. — Dates des expériences : série n° 78, 15 et 16 février 1859; série n° 79, 26, 28 et 29 mai 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	SÉRIE N° 78. PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL.				SÉRIE N° 79. PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL.			
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,303.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 1mc,236.	EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,100.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,303.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,824.
134	220,00	0	0,167	0,264	0,479	0,619	0,129	0,202	0,324	0,559
136	222,72	0,002	0,164	0,255	0,478	0,611	0,121	0,196	0,311	0,540
138	225,49	0,006	0,162	0,255	0,481	0,611	0,118	0,189	0,304	0,536
140	228,39	0,011	0,162	0,254	0,478	0,617	0,126	0,198	0,313	0,543
142	231,17	0,018	0,171	0,264	0,487	0,617	0,128	0,201	0,314	0,546
144	234,15	0,023	0,173	0,267	0,488	0,641	0,127	0,201	0,315	0,554
146	236,99	0,026	0,170	0,260	0,493	0,619	0,130	0,201	0,315	0,558
148	239,63	0,033	0,172	0,264	0,493	0,618	0,130	0,207	0,319	0,556
150	242,33	0,040	0,175	0,269	0,500	0,621	0,135	0,206	0,320	0,563
152	244,95	0,040	0,170	0,262	0,496	0,627	0,133	0,206	0,321	0,561
154	248,05	0,046	0,178	0,267	0,509	0,624	0,133	0,207	0,322	0,567
156	250,99	0,050	0,170	0,261	0,500	0,627	0,135	0,208	0,318	0,569
158	253,61	0,057	0,176	0,269	0,509	0,633	0,140	0,215	0,321	0,571
160	257,01	0,056	0,170	0,265	0,505	0,632	0,136	0,210	0,316	0,568
162	260,09	0,062	0,177	0,266	0,514	0,634	0,141	0,215	0,321	0,572
164	263,43	0,064	0,181	0,272	0,516	0,626	0,138	0,210	0,319	0,569
166	267,07	0,068	0,173	0,261	0,515	0,628	0,136	0,210	0,314	0,568
168	270,70	0,079	0,173	0,266	0,516	0,642	0,145	0,219	0,314	0,578
170	273,80	0,083	0,176	0,265	0,522	0,640	0,143	0,215	0,316	0,576

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	SÉRIE N° 78. PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL.				SÉRIE N° 79. PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL.			
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $1^{mc},236$.	EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},100$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},203$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},824$.
172	276,96	0,085	0,175	0,265	0,528	0,641	0,143	0,215	0,317	0,577
174	279,90	0,089	0,179	0,268	0,531	0,643	0,146	0,215	0,317	0,579
176	283,78	0,091	0,174	0,260	0,530	0,639	0,144	0,215	0,313	0,576
178	287,40	0,102	0,177	0,270	0,541	0,655	0,151	0,219	0,321	0,581
180	291,28	0,105	0,177	0,267	0,538	0,656	0,155	0,227	0,325	0,586
182	294,00	0,114	0,183	0,273	0,546	0,661	0,163	0,230	0,328	0,592
184	297,04	0,118	0,184	0,277	0,554	0,664	0,168	0,235	0,332	0,596
186	300,20	0,122	0,179	0,273	0,549	0,668	0,172	0,239	0,334	0,598
188	304,24	0,129	0,184	0,275	0,557	0,664	0,174	0,239	0,333	0,598
190	307,79	0,134	0,183	0,272	0,553	0,671	0,177	0,242	0,333	0,602
192	311,07	0,138	0,190	0,279	0,566	0,675	0,179	0,243	0,332	0,603
194	313,72	0,142	0,194	0,282	0,567	0,674	0,183	0,245	0,336	0,606
196	316,96	0,149	0,193	0,282	0,568	0,682	0,187	0,250	0,337	0,612
198	320,00	0,154	0,192	0,279	0,571	0,686	0,191	0,254	0,335	0,609
200	323,65	0,156	0,198	0,280	0,575	0,685	0,193	0,252	0,337	0,613
202	326,40	0,163	0,198	0,283	0,578	0,685	0,195	0,254	0,339	0,615
204	329,44	0,167	0,202	0,284	0,576	0,692	0,198	0,255	0,348	0,615
206	332,18	0,171	0,206	0,287	0,585	0,695	0,203	0,259	0,340	0,619
208	335,34	0,178	0,211	0,292	0,591	0,695	0,205	0,359	0,338	0,619
210	338,30	0,183	0,208	0,291	0,592	0,709	0,211	0,263	0,343	0,622
212	340,92	0,185	0,213	0,296	0,596	0,707	0,216	0,268	0,344	0,628
214	343,64	0,187	0,215	0,296	0,597	0,707	0,217	0,268	0,344	0,628
216	346,68	0,191	0,218	0,295	0,602	0,705	0,219	0,271	0,347	0,630
218	349,74	0,197	0,216	0,294	0,603	0,710	0,220	0,271	0,341	0,626
220	352,68	0,200	0,223	0,299	0,610	0,718	0,230	0,278	0,350	0,630
222	355,64	0,210	0,214	0,291	0,602	0,723	0,238	0,280	0,360	0,641
224	358,43	0,211	0,232	0,311	0,617	0,726	0,236	0,278	0,353	0,640
226	361,16	0,212	0,237	0,309	0,620	0,724	0,237	0,279	0,353	0,639
228	363,64	0,218	0,240	0,313	0,625	0,729	0,246	0,294	0,359	0,649
230	366,26	0,227	0,245	0,319	0,630	0,736	0,254	0,299	0,366	0,660
232	368,90	0,226	0,247	0,319	0,632	0,737	0,250	0,299	0,363	0,654
233	370,26	0,232	"	"	"	"	"	"	"	"

SÉRIE N° 80. (Voir p. 266, pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS DE GONFLEMENT.

Pente longitudinale du fond : 0m,0059 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,963 de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de 0m,027 de largeur espacés de 0m,05. — Direction et intensité du vent : temps presque calme. — Température de l'eau : 6°,5. — Dates des expériences : 11 et 13 décembre 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO de chaque profil.	DISTANCE à l'origine.	COTES de nivellement du fond (le profil n° 59 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.			
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,203.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,411.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 1mc,236.
59	100,00	0	0,161	0,240	0,372	0,488
61	103,15	0,018	0,128	0,204	0,330	0,428
63	106,04	0,036	0,137	0,206	0,328	0,424
65	108,70	0,049	0,128	0,199	0,316	0,419
67	111,34	0,069	0,132	0,206	0,322	0,434
69	113,99	0,081	0,131	0,201	0,324	0,432
71	116,68	0,104	0,133	0,210	0,335	0,449
73	120,00	0,127	0,137	0,214	0,333	0,455
75	123,66	0,147	0,136	0,215	0,334	0,454
77	127,04	0,168	0,142	0,221	0,341	0,467
79	129,71	0,183	0,144	0,227	0,348	0,472
81	133,65	0,207	0,156	0,240	0,359	0,487
83	137,65	0,231	0,175	0,257	0,380	0,492
85	140,03	0,243	0,186	0,267	0,389	0,502
87	143,36	0,269	0,195	0,287	0,408	0,518
89	146,69	0,288	0,220	0,301	0,419	0,538
91	150,00	0,301	0,234	0,314	0,431	0,542
93	153,25	0,325	0,257	0,339	0,454	0,563
95	156,50	0,344	0,275	0,353	0,469	0,586
97	160,00	0,363	0,294	0,374	0,483	0,594
99	164,10	0,392	0,320	0,397	0,505	0,617
101	168,02	0,415	0,343	0,421	0,528	0,642
103	171,79	0,436	0,365	0,439	0,545	0,657
105	175,16	0,448	0,377	0,453	0,557	0,668
107	178,22	0,473	0,399	0,474	0,580	0,690
109	181,92	0,495	0,421	0,497	0,600	0,709
111	185,52	0,521	0,443	0,523	0,622	0,737
113	188,22	0,528	0,455	0,532	0,635	0,745
115	191,13	0,545	0,468	0,545	0,649	0,755
117	194,26	0,565	0,490	0,565	0,668	0,771
119	197,23	0,581	0,504	0,582	0,679	0,792
121	200,00	0,604	0,471	0,535	0,615	0,734

SÉRIE N° 81. (Voir p. 266, pl. XXV.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

Pente longitudinale du fond : $0^m,0015$ par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de $1^m,960$ de largeur. — Nature de la paroi : planches recouvertes de liteaux de $0^m,027$ de largeur, espacés de $0^m,05$. — Direction et intensité du vent : vent de côté et quelquefois d'amont. — Température de l'eau : 18°. — Date des expériences : 19 mai 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL. EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $1^{mc},236$.	NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 134 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT À CHAQUE PROFIL. EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},411$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $1^{mc},236$.
134	220,00	0,000	0,313	0,489	0,638	186	300,20	0,122	0,299	0,455	0,580
136	222,72	0,002	0,307	0,482	0,626	188	304,24	0,129	0,295	0,452	0,575
138	225,49	0,006	0,297	0,472	0,618	190	307,79	0,134	0,294	0,447	0,569
140	228,39	0,011	0,312	0,480	0,627	192	311,07	0,138	0,290	0,444	0,565
142	231,17	0,018	0,309	0,480	0,625	194	313,72	0,142	0,293	0,444	0,564
144	234,15	0,023	0,308	0,479	0,622	196	316,96	0,149	0,291	0,434	0,560
146	236,99	0,026	0,305	0,482	0,620	198	320,00	0,154	0,287	0,435	0,556
148	239,63	0,033	0,311	0,483	0,622	200	323,65	0,156	0,287	0,432	0,554
150	242,33	0,040	0,310	0,479	0,619	202	326,40	0,163	0,284	0,429	0,547
152	244,95	0,040	0,308	0,477	0,617	204	329,44	0,167	0,283	0,425	0,542
154	248,05	0,046	0,309	0,476	0,617	206	332,18	0,171	0,280	0,423	0,538
156	250,99	0,050	0,310	0,475	0,615	208	335,34	0,178	0,272	0,415	0,527
158	253,61	0,057	0,312	0,476	0,619	210	338,30	0,183	0,275	0,413	0,525
160	257,01	0,056	0,307	0,470	0,610	212	340,92	0,185	0,275	0,410	0,523
162	260,09	0,062	0,309	0,474	0,616	214	343,64	0,187	0,265	0,404	0,516
164	263,43	0,064	0,304	0,467	0,608	216	346,68	0,191	0,266	0,399	0,509
166	267,07	0,068	0,302	0,464	0,599	218	349,74	0,197	0,258	0,388	0,492
168	270,70	0,079	0,308	0,469	0,606	220	352,68	0,200	0,255	0,383	0,486
170	273,80	0,083	0,304	0,467	0,598	222	355,64	0,210	0,255	0,383	0,487
172	276,96	0,085	0,300	0,460	0,594	224	358,43	0,211	0,244	0,365	0,466
174	279,90	0,089	0,297	0,460	0,590	226	361,16	0,212	0,229	0,346	0,442
176	283,78	0,091	0,291	0,453	0,582	228	363,64	0,218	0,227	0,343	0,438
178	287,40	0,102	0,294	0,455	0,580	230	366,26	0,227	0,219	0,337	0,417
180	291,28	0,105	0,298	0,454	0,580	232	368,90	0,226	0,187	0,284	0,364
182	294,00	0,114	0,300	0,457	0,585	233	370,26	0,232	0,136	0,214	0,277
184	297,04	0,118	0,295	0,450	0,578						

SÉRIE N° 82. (Voir p. 267, pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

Pente longitudinale du fond : fond horizontal. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : temps à peu près calme. — Température de l'eau : 24°. — Dates des expériences : 11, 12, 13, 14 et 16 août 1856.

[A] PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

Numéro de chaque profil.	Distance à l'origine.	Profondeur du courant à chaque profil. Expérience n° 1. Débit par seconde 0m,100.	Expérience n° 2. Débit par seconde 0m,203.	Expérience n° 3. Débit par seconde 0m,411.	Expérience n° 4. Débit par seconde 0m,618.	Expérience n° 5. Débit par seconde 0m,824.	Expérience n° 6. Débit par seconde 1m,030.	Numéro de chaque profil.	Distance à l'origine.	Profondeur du courant à chaque profil. Expérience n° 1. Débit par seconde 0m,100.	Expérience n° 2. Débit par seconde 0m,203.	Expérience n° 3. Débit par seconde 0m,411.	Expérience n° 4. Débit par seconde 0m,618.	Expérience n° 5. Débit par seconde 0m,824.	Expérience n° 6. Débit par seconde 1m,030.
160	257,01	0,151	0,210	0,314	0,396	0,457	0,514	191	309,49	0,137	0,194	0,280	0,352	0,409	0,461
161	258,57	0,153	0,217	0,312	0,391	0,457	0,521	192	311,07	0,144	0,194	0,279	0,352	0,410	0,463
162	260,09	0,152	0,214	0,310	0,393	0,456	0,507	193	312,26	0,130	0,189	0,272	0,346	0,403	0,451
163	261,83	0,149	0,212	0,303	0,388	0,452	0,503	194	313,72	0,126	0,183	0,262	0,336	0,404	0,443
164	263,43	0,151	0,215	0,310	0,392	0,449	0,509	195	315,28	0,123	0,180	0,259	0,330	0,389	0,436
165	265,17	0,150	0,211	0,308	0,388	0,444	0,512	196	316,96	0,117	0,172	0,252	0,323	0,381	0,429
166	267,07	0,158	0,222	0,318	0,397	0,457	0,514	197	318,72	0,121	0,176	0,259	0,327	0,384	0,437
167	269,15	0,158	0,224	0,315	0,398	0,458	0,520	198	320,00	0,128	0,182	0,263	0,332	0,391	0,449
168	270,70	0,161	0,227	0,319	0,399	0,457	0,518	199	322,09	0,114	0,168	0,243	0,313	0,369	0,423
169	272,20	0,151	0,218	0,311	0,395	0,454	0,517	200	323,65	0,111	0,165	0,243	0,310	0,365	0,414
170	273,80	0,153	0,219	0,309	0,391	0,448	0,513	201	325,09	0,107	0,163	0,241	0,313	0,364	0,420
171	275,36	0,159	0,221	0,309	0,394	0,456	0,509	202	326,40	0,100	0,155	0,232	0,303	0,353	0,406
172	276,96	0,153	0,218	0,308	0,391	0,452	0,507	203	327,98	0,115	0,171	0,247	0,313	0,367	0,419
173	278,16	0,151	0,215	0,301	0,386	0,447	0,499	204	329,44	0,115	0,167	0,244	0,312	0,364	0,413
174	279,90	0,152	0,215	0,309	0,385	0,448	0,504	205	330,85	0,110	0,159	0,235	0,301	0,359	0,411
175	281,90	0,147	0,211	0,302	0,377	0,431	0,497	206	332,18	0,101	0,175	0,247	0,317	0,369	0,421
176	283,78	0,152	0,213	0,308	0,389	0,447	0,504	207	333,80	0,107	0,176	0,241	0,318	0,373	0,420
177	285,58	0,152	0,213	0,303	0,380	0,447	0,499	208	335,34	0,117	0,169	0,237	0,303	0,357	0,406
178	287,40	0,147	0,207	0,302	0,374	0,437	0,491	209	337,00	0,105	0,155	0,225	0,292	0,346	0,392
179	289,34	0,137	0,199	0,287	0,363	0,423	0,478	210	338,30	0,103	0,154	0,227	0,289	0,341	0,388
180	291,28	0,137	0,197	0,288	0,363	0,423	0,477	211	339,60	0,106	0,165	0,240	0,303	0,356	0,399
181	292,70	0,140	0,204	0,291	0,364	0,426	0,480	212	340,92	0,108	0,159	0,230	0,294	0,341	0,388
182	294,00	0,137	0,201	0,285	0,360	0,421	0,479	213	342,16	0,100	0,146	0,217	0,280	0,327	0,376
183	295,50	0,142	0,211	0,287	0,362	0,419	0,475	214	343,64	0,095	0,146	0,215	0,277	0,320	0,373
184	297,04	0,137	0,197	0,282	0,359	0,413	0,473	215	344,98	0,096	0,140	0,208	0,268	0,301	0,364
185	298,24	0,133	0,196	0,282	0,356	0,409	0,474	216	346,68	0,101	0,142	0,211	0,272	0,323	0,365
186	300,20	0,138	0,197	0,282	0,355	0,411	0,472	217	348,26	0,094	0,144	0,205	0,268	0,312	0,357
187	302,26	0,132	0,194	0,281	0,355	0,409	0,467	218	349,74	0,091	0,138	0,197	0,263	0,303	0,341
188	304,24	0,139	0,197	0,280	0,354	0,412	0,464	219	351,24	0,086	0,134	0,192	0,258	0,294	0,308
189	306,12	0,143	0,201	0,285	0,358	0,417	0,467	220	352,68	0,099	0,135	0,200	0,248	0,303	0,263
190	307,79	0,137	0,197	0,279	0,354	0,410	0,464	221	354,22	0,054	0,089	0,130	0,179	0,213	0,241

SÉRIE N° 83. (Voir p. 267, pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR L'AQUEDUC DE CEINTURE.

Ces expériences ont été faites en 1857, par M. l'ingénieur en chef Belgrand, à la prière de M. Darcy. Le débit était déterminé à l'origine de l'aqueduc, à l'aide du compteur de la Villette, en admettant un volume de $9^{mc},135$ par tour; ce chiffre avait été obtenu par une opération de tarage exécutée quelques jours avant.

Les orifices de débit étaient soigneusement fermés sur tout le parcours de l'aqueduc et le plan d'eau du réservoir de Monceaux avait été abaissé de manière à ne produire aucun remou.

L'expérience dont nous rapportons les résultats a eu lieu dans la nuit du 17 au 18 avril : les hauteurs d'eau ont été constatées trois fois et n'ont présenté que des différences insignifiantes. Un intervalle de temps de quarante minutes s'étant écoulé entre la première et la troisième constatation, on était certain de la permanence du régime.

Outre ces expériences, il en avait été fait d'autres quelques jours avant, avec des volumes d'eau moindres; mais une fausse manœuvre faite par l'un des opérateurs ayant altéré quelques-uns des résultats, nous n'avons pas cru devoir les consigner ici.

SÉRIE N° 84. (Voir série n° 81; voir également p. 275 et pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des expériences.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	27 mai 1858.....	0,824	0,880	14°	Ces trois expériences ont eu lieu : la 1re, au profil n° 148; la 2e, au profil n° 215; la 3e, au profil n° 229. — Vent violent soufflant tantôt de côté, tantôt d'amont.
2	26 mai 1858.....	0,824	1,033	14° 5	
3	*Idem*.....	0,824	1,246	*Idem*.	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION DES ORDONNÉES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	EXPÉRIENCE N° 1.										
Ordonnées du fond.....	0,915	0,914	0,917	0,919	0,919	0,917	0,916	0,915	0,916	0,914	0,910
Ordonnées de la surface.....	0,440	0,440	0,440	0,440	0,440	0,440	0,440	0,440	0,441	0,441	0,441
	EXPÉRIENCE N° 2.										
Ordonnées du fond.....	0,883	0,883	0,882	0,881	0,880	0,878	0,880	0,879	0,879	0,880	0,879
Ordonnées de la surface.....	0,478	0,478	0,478	0,476	0,475	0,475	0,476	0,475	0,475	0,476	0,476
	EXPÉRIENCE N° 3.										
Ordonnées du fond.....	0,876	0,875	0,874	0,872	0,875	0,875	0,877	0,875	0,876	0,876	0,876
Ordonnées de la surface.....	0,539	0,539	0,538	0,538	0,538	0,536	0,537	0,542	0,542	0,542	0,542

SÉRIE N° 85. (Voir série n° 81; voir également p. 276 et pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des expériences.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	25 mai 1858.....	1,236	1,011	16°	Ces trois expériences ont eu lieu : la 1re, au profil n° 148; la 2e, au profil n° 215; la 3e, au profil n° 229. — Vent assez fort soufflant de côté et quelquefois d'amont.
2	24 mai 1858.....	1,236	1,218	17°	
3	*Idem*.....	1,236	1,473	*Id.*	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION DES ORDONNÉES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	EXPÉRIENCE N° 1.										
Ordonnées du fond.....	0,915	0,914	0,917	0,919	0,919	0,917	0,916	0,915	0,916	0,914	0,910
Ordonnées de la surface.....	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295
	EXPÉRIENCE N° 2.										
Ordonnées du fond.....	0,883	0,883	0,882	0,881	0,880	0,878	0,880	0,879	0,879	0,880	0,879
Ordonnées de la surface.....	0,367	0,367	0,367	0,367	0,365	0,365	0,365	0,365	0,367	0,367	0,367
	EXPÉRIENCE N° 3.										
Ordonnées du fond.....	0,876	0,875	0,874	0,872	0,875	0,875	0,877	0,875	0,876	0,876	0,876
Ordonnées de la surface.....	0,447	0,447	0,447	0,447	0,449	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450	0,450

SÉRIE N° 86. (Voir série n° 82; voir également p. 277 et pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des expériences.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	11 août 1856....	1,030	1,022	24°	Ces trois expériences ont eu lieu : la 1re, au profil n° 171; la 2e, au profil n° 188; la 3e, au profil n° 198. — Vent assez fort soufflant de côté et quelquefois d'aval.
2	*Idem*.....	1,030	1,121	*Id.*	
3	*Idem*.....	1,030	1,207	*Id.*	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION DES ORDONNÉES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	EXPÉRIENCE N° 1.										
Ordonnées du fond.....	1,066	1,057	1,059	1,059	1,060	1,060	1,060	1,059	0,063	1,066	1,061
Ordonnées de la surface.....	0,555	0,555	0,552	0,555	0,550	0,550	0,551	0,550	0,549	0,550	0,550
	EXPÉRIENCE N° 2.										
Ordonnées du fond.....	1,047	1,047	1,048	1,045	1,047	1,048	1,047	1,048	1,051	1,050	1,051
Ordonnées de la surface.....	0,581	0,583	0,585	0,583	0,581	0,582	0,585	0,587	0,589	0,585	0,585
	EXPÉRIENCE N° 3.										
Ordonnées du fond.....	1,100	1,107	1,103	1,094	1,080	1,090	1,080	1,091	1,094	1,093	1,098
Ordonnées de la surface.....	0,668	0,664	0,666	0,663	0,661	0,658	0,663	0,662	0,662	0,664	0,662

SÉRIE N° 87. (Voir SÉRIE N° 82; voir également p. 278-279 et pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

[A]

NUMÉROS des expériences.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	26 septembre 1856.	1,236	0,835	14°	Ces cinq expériences ont eu lieu : la 1re, au profil n° 171 ; la 2e, au profil n° 184 ; la 3e, au profil n° 198 ; la 4e, au profil n° 218 ; la 5e, au profil n° 241. — Vent assez fort soufflant de côté et quelquefois d'aval.
2	*Idem*.....	1,236	0,846	*Id.*	
3	25 septembre 1856.	1,236	0,865	*Id.*	
4	26 septembre 1856.	1,236	0,888	*Id.*	
5	*Idem*.....	1,236	0,900	*Id.*	

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[B]

DÉSIGNATION DES ORDONNÉES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	EXPÉRIENCE N° 1.										
Ordonnées du fond.....	1,074	1,072	1,070	1,066	1,065	1,067	1,066	1,067	1,067	1,070	1,065
Ordonnées de la surface.....	0,323	0,323	0,323	0,321	0,322	0,316	0,317	0,319	0,320	0,318	0,317
	EXPÉRIENCE N° 2.										
Ordonnées du fond.....	1,090	1,091	1,094	1,090	1,089	1,088	1,084	1,090	1,089	1,089	1,087
Ordonnées de la surface.....	0,352	0,358	0,357	0,355	0,355	0,360	0,354	0,354	0,356	0,357	0,355
	EXPÉRIENCE N° 3.										
Ordonnées du fond.....	1,108	1,107	1,099	1,098	1,096	1,093	1,093	1,088	1,093	1,089	1,092
Ordonnées de la surface.....	0,384	0,382	0,376	0,375	0,375	0,371	0,373	0,372	0,377	0,375	0,378
	EXPÉRIENCE N° 4.										
Ordonnées du fond.....	0,905	0,902	0,897	0,892	0,890	0,887	0,889	0,887	0,888	0,890	0,892
Ordonnées de la surface.....	0,195	0,195	0,193	0,194	0,192	0,190	0,194	0,191	0,194	0,193	0,192
	EXPÉRIENCE N° 5.										
Ordonnées du fond.....	0,862	0,862	0,862	0,864	0,864	0,860	0,865	0,862	0,864	0,863	0,864
Ordonnées de la surface.....	0,173	0,175	0,170	0,172	0,174	0,172	0,173	0,172	0,175	0,172	0,172

SÉRIE N° 88. (Voir série n° 82 ; voir également p. 280-281 et pl. XXVI.)

EXPÉRIENCES SUR LE REMOUS D'ABAISSEMENT.

[A]

ÉLÉMENTS PRINCIPAUX DES EXPÉRIENCES.

NUMÉROS des expériences.	DATES DES EXPÉRIENCES.	DÉBIT PAR SECONDE.	VITESSE MOYENNE.	TEMPÉRATURE de l'eau.	OBSERVATIONS.
1	30 août 1856.....	1,030	0,894	20°	Ces sept expériences ont eu lieu : la 1re, au profil n° 171 ; la 2e, au profil n° 183 ; la 3e, au profil n° 198 ; la 4e, au profil n° 218 ; la 5e, au profil n° 241 ; la 6e, au profil n° 259 ; la 7e, au profil n° 274. — Vent soufflant de côté.
2	*Idem*.....	1,030	0,921	*Id.*	
3	*Idem*.....	1,030	0,955	*Id.*	
4	*Idem*.....	1,030	1,010	*Id.*	
5	1er septembre 1856.	1,030	1,041	21°	
6	*Idem*.....	1,030	1,193	*Id.*	
7	*Idem*.....	1,030	1,437	*Id.*	

[B]

ORDONNÉES DU FOND ET DE LA SURFACE DE L'EAU POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

DÉSIGNATION DES ORDONNÉES.	DISTANCES HORIZONTALES A L'AXE DU COURANT.										
	0m,90	0m,80	0m,60	0m,40	0m,20	0	0m,20	0m,40	0m,60	0m,80	0m,90
	À GAUCHE.						À DROITE.				
	EXPÉRIENCE N° 1.										
Ordonnées du fond.....	1,062	1,063	1,065	1,063	1,061	1,061	1,062	1,061	1,067	1,067	1,072
Ordonnées de la surface.....	0,487	0,486	0,483	0,482	0,477	0,477	0,482	0,476	0,482	0,481	0,480
	EXPÉRIENCE N° 2.										
Ordonnées du fond.....	1,086	1,087	1,088	1,087	1,086	1,087	1,087	1,086	1,088	1,090	1,089
Ordonnées de la surface.....	0,523	0,523	0,523	0,524	0,521	0,522	0,520	0,524	0,524	0,522	0,520
	EXPÉRIENCE N° 3.										
Ordonnées du fond.....	1,106	1,104	1,100	1,094	1,095	1,093	1,094	1,090	1,092	1,088	1,093
Ordonnées de la surface.....	0,552	0,552	0,548	0,550	0,552	0,545	0,547	0,558	0,547	0,555	0,552
	EXPÉRIENCE N° 4.										
Ordonnées du fond.....	0,888	0,888	0,884	0,881	0,884	0,884	0,884	0,885	0,891	0,895	0,889
Ordonnées de la surface.....	0,374	0,374	0,370	0,375	0,371	0,372	0,368	0,369	0,370	0,371	0,366
	EXPÉRIENCE N° 5.										
Ordonnées du fond.....	0,859	0,861	0,863	0,862	0,861	0,862	0,861	0,862	0,862	0,863	0,861
Ordonnées de la surface.....	0,358	0,358	0,361	0,360	0,363	0,362	0,361	0,364	0,365	0,366	0,363
	EXPÉRIENCE N° 6.										
Ordonnées du fond.....	0,846	0,842	0,844	0,844	0,849	0,848	0,848	0,847	0,847	0,846	0,847
Ordonnées de la surface.....	0,406	0,406	0,410	0,407	0,409	0,409	0,413	0,411	0,411	0,411	0,409
	EXPÉRIENCE N° 7.										
Ordonnées du fond.....	0,780	0,772	0,769	0,766	0,764	0,760	0,762	0,759	0,759	0,762	0,761
Ordonnées de la surface.....	0,405	0,403	0,405	0,404	0,403	0,400	0,400	0,402	0,402	0,402	0,400

SÉRIE N° 89. (Voir p. 287, pl. XXVIII.)

EXPÉRIENCES SUR LES RESSAUTS.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté généralement assez faible, sauf pour les expériences nos 7, 8 et 9. — Température de l'eau : 18°. — Dates des expériences : 14, 15 et 16 juillet 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 41 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,103.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,209.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,317.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,424.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,531.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,637.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 1mc,030.
41	70,87	0	0,060	0,091	0,113	0,138	0,168	0,180	0,201	0,220	0,261
42	72,85	"	0,063	0,092	0,126	0,149	0,171	0,189	0,207	0,224	0,259
43	74,61	"	0,062	0,092	0,121	0,145	0,168	0,176	0,202	0,214	0,257
44	76,33	"	0,071	0,101	0,142	0,165	0,181	0,191	0,207	0,217	0,259
45	78,04	"	0,061	0,093	0,123	0,149	0,164	0,186	0,200	0,220	0,255
46	79,04	"	0,081	0,126	0,134	0,147	0,172	0,191	0,208	0,220	0,263
47	80,04	0,051	0,092	0,140	0,177	0,175	0,171	0,179	0,201	0,221	0,260
48	82,00	"	0,112	0,141	0,193	0,186	0,204	0,191	0,203	0,226	0,263
49	83,66	"	0,109	0,163	0,197	0,225	0,217	0,257	0,209	0,219	0,264
50	85,30	"	0,124	0,172	0,211	0,227	0,249	0,277	0,218	0,228	0,269
51	86,96	"	0,131	0,178	0,203	0,243	0,255	0,281	0,208	0,223	0,261
52	88,64	"	0,135	0,190	0,238	0,254	0,281	0,312	0,205	0,230	0,266
53	90,25	0,098	0,148	0,202	0,245	0,273	0,288	0,315	0,199	0,225	0,263
54	91,75	"	0,156	0,203	0,251	0,279	0,288	0,319	0,196	0,217	0,252
55	93,19	"	0,167	0,217	0,264	0,294	0,305	0,332	0,194	0,215	0,255

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 41 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},103$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},209$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},317$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},424$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},531$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $0^{mc},637$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde $1^{mc},030$.
56	94,72	"	0,177	0,227	0,274	0,283	0,328	0,340	0,192	0,213	0,241
57	96,48	"	0,170	0,221	0,276	0,298	0,313	0,347	0,208	0,217	0,252
58	98,36	"	0,192	0,236	0,291	0,308	0,323	0,378	0,203	0,229	0,258
59	100,00	0,148	0,202	0,255	0,298	0,326	0,341	0,383	0,210	0,227	0,267
60	101,59	"	0,204	0,263	0,311	0,347	0,363	0,392	0,195	0,218	0,257
61	103,15	"	0,207	0,270	0,309	0,344	0,356	0,394	0,186	0,216	0,247
62	104,74	"	0,225	0,281	0,321	0,358	0,373	0,402	0,197	0,215	0,242
63	106,04	"	0,227	0,289	0,330	0,364	0,384	0,423	0,196	0,222	0,256
64	107,34	"	0,239	0,292	0,336	0,376	0,386	0,423	0,194	0,220	0,255
65	108,70	"	0,250	0,300	0,342	0,386	0,391	0,430	0,192	0,219	0,263
66	110,00	0,200	0,251	0,303	0,345	0,382	0,394	0,430	0,200	0,222	0,267
67	111,34	"	0,254	0,306	0,345	0,383	0,402	0,441	0,216	0,234	0,270
68	112,65	"	0,267	0,325	0,361	0,402	0,407	0,448	0,207	0,231	0,280
69	113,99	"	0,259	0,314	0,353	0,384	0,401	0,455	0,216	0,234	0,275
70	115,34	"	0,264	0,320	0,360	0,401	0,420	0,454	0,227	0,242	0,287
71	116,68	"	0,262	0,316	0,357	0,398	0,425	0,452	0,229	0,248	0,284
72	118,34	"	0,281	0,331	0,374	0,403	0,432	0,464	0,227	0,252	0,284
73	120,00	0,241	0,286	0,344	0,384	0,406	0,443	0,497	0,204	0,224	0,273
74	121,71	"	0,297	0,354	0,394	0,433	0,448	0,488	0,208	0,229	0,270
75	123,66	"	0,314	0,368	0,407	0,437	0,455	0,496	0,258	0,244	0,270
76	125,66	"	0,319	0,372	0,416	0,447	0,474	0,506	0,270	0,291	0,356
77	127,04	"	0,325	0,379	0,421	0,451	0,470	0,510	0,282	0,300	0,387
78	128,34	"	0,333	0,388	0,438	0,463	0,486	0,523	0,324	0,332	0,382
79	129,71	0,296	0,345	0,405	0,445	0,471	0,492	0,541	0,315	0,360	0,399
80	131,71	"	0,347	0,402	0,447	0,474	0,502	0,540	0,317	0,353	0,395
81	133,65	"	0,362	0,416	0,463	0,485	0,515	0,554	0,341	0,383	0,451
82	135,65	"	0,372	0,424	0,469	0,501	0,525	0,556	0,360	0,383	0,431
83	137,65	"	0,380	0,432	0,477	0,502	0,537	0,573	0,373	0,388	0,463
84	138,89	"	0,387	0,447	0,489	0,519	0,542	0,575	0,379	0,410	0,464
85	140,03	0,345	0,401	0,445	0,492	0,523	0,549	0,579	0,382	0,441	0,478
86	141,70	"	0,397	0,452	0,491	0,529	0,551	0,584	0,404	0,408	0,501
87	143,36	"	0,407	0,461	0,502	0,530	0,555	0,595	0,410	0,432	0,480
88	145,04	"	0,404	0,465	0,507	0,535	0,557	0,597	0,414	0,447	0,497

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 41 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,103.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,209.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0mc,317.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,424.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,531.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 0mc,637.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 1mc,030.
89	146,69	"	0,422	0,477	0,510	0,550	0,574	0,616	0,429	0,466	0,508
90	148,37	"	0,432	0,484	0,528	0,560	0,591	0,614	0,433	0,467	0,521
91	150,00	0,388	0,435	0,489	0,536	0,565	0,594	0,625	0,444	0,475	0,521
92	151,56	"	0,436	0,498	0,539	0,573	0,602	0,628	0,447	0,479	0,524
93	153,25	"	0,461	0,515	0,557	0,585	0,620	0,645	0,465	0,510	0,534
94	154,90	"	0,466	0,518	0,562	0,593	0,623	0,651	0,461	0,497	0,554
95	156,50	"	0,471	0,523	0,571	0,597	0,629	0,653	0,481	0,505	0,556
96	158,14	"	0,481	0,529	0,578	0,606	0,637	0,676	0,483	0,528	0,566
97	160,00	0,437	0,495	0,547	0,591	0,613	0,655	0,683	0,509	0,526	0,575
98	162,10	"	0,498	0,558	0,601	0,631	0,647	0,678	0,513	0,519	0,581
99	164,10	"	0,514	0,563	0,611	0,636	0,670	0,695	0,523	0,544	0,603
100	166,10	"	0,524	0,578	0,622	0,649	0,668	0,710	0,540	0,559	0,620
101	168,02	"	0,541	0,593	0,640	0,673	0,687	0,728	0,553	0,587	0,632
102	170,09	0,483	0,539	0,594	0,639	0,668	0,686	0,718	0,556	0,567	0,637
103	171,79	"	0,553	0,608	0,655	0,680	0,699	0,740	0,574	0,586	0,645
104	173,44	"	0,565	0,617	0,660	0,690	0,713	0,745	0,580	0,589	0,649
105	175,16	"	0,568	0,626	0,664	0,694	0,718	0,748	0,578	0,606	0,663
106	176,72	"	0,578	0,634	0,677	0,707	0,728	0,760	0,598	0,607	0,675
107	178,22	"	0,583	0,638	0,683	0,709	0,731	0,764	0,601	0,614	0,665
108	180,00	0,533	0,597	0,651	0,696	0,725	0,744	0,776	0,608	0,622	0,689
109	181,92	"	0,605	0,657	0,701	0,732	0,753	0,783	0,621	0,637	0,691
110	183,82	"	0,613	0,667	0,711	0,740	0,764	0,795	0,627	0,649	0,709
111	185,52	"	0,630	0,685	0,725	0,756	0,776	0,811	0,645	0,663	0,727
112	186,92	"	0,635	0,684	0,733	0,759	0,780	0,802	0,655	0,671	0,733
113	188,22	"	0,645	0,680	0,741	0,771	0,791	0,820	0,656	0,677	0,745
114	189,67	0,587	0,651	0,702	0,749	0,776	0,802	0,827	0,664	0,687	0,747
115	191,13	"	0,650	0,702	0,742	0,779	0,799	0,832	0,663	0,683	0,745
116	192,61	"	0,657	0,712	0,751	0,781	0,798	0,836	0,669	0,687	0,744
117	194,26	"	0,655	0,706	0,753	0,780	0,806	0,837	0,673	0,696	0,756
118	195,97	"	0,670	0,719	0,762	0,795	0,820	0,852	0,682	0,702	0,763
119	197,23	"	0,677	0,725	0,771	0,798	0,819	0,856	0,684	0,704	0,765
120	198,53	"	0,682	0,735	0,776	0,808	0,827	0,860	0,695	0,720	0,773
121	200,00	0,638	0,672	0,716	0,748	0,774	0,796	0,819	0,644	0,675	0,720

SÉRIE N° 90. (Voir p. 288, pl. XXVIII.)

EXPÉRIENCES SUR LES RESSAUTS.

Pente longitudinale du fond : 0m,0049 par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : léger vent de côté. — Température de l'eau : 22°,5. — Dates des expériences : 22 et 23 juillet 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO de chaque profil.	DISTANCE à l'origine.	COTES de nivellement du fond (le profil n° 47 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL. EXPÉRIENCE n° 1. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE n° 2. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE n° 3. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE n° 4. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE n° 5. Débit par seconde 1mc,030.
47	80,04	0	"	0,164	"	"	0,250
48	82,00	"	"	0,175	"	"	0,251
49	83,66	"	"	0,165	"	"	0,257
50	85,30	"	"	0,166	"	"	0,254
51	86,96	"	"	0,162	"	"	0,257
52	88,64	"	"	0,164	"	"	0,252
53	90,25	0,047	"	0,161	"	0,239	0,262
54	91,75	"	"	0,158	"	0,229	0,345
55	93,19	"	"	0,155	"	0,223	0,376
56	94,72	"	"	0,158	"	0,222	0,398
57	96,48	"	"	0,216	"	0,227	0,390
58	98,36	"	"	0,244	"	0,256	0,432
59	100,00	0,097	"	0,275	"	0,243	0,436
60	101,59	"	"	0,303	"	0,231	0,465
61	103,15	"	"	0,298	"	0,225	0,482
62	104,74	"	"	0,316	"	0,230	0,459
63	106,04	"	"	0,329	"	0,230	0,471
64	107,34	"	"	0,335	"	0,231	0,482
65	108,70	"	"	0,343	"	0,234	0,486
66	110,00	0,149	"	0,343	"	0,245	0,473
67	111,34	"	"	0,340	"	0,251	0,490
68	112,65	"	"	0,354	"	0,245	0,511
69	113,99	"	"	0,352	"	0,243	0,498
70	115,34	"	"	0,363	"	0,258	0,523
71	116,68	"	"	0,353	"	0,315	0,517
72	118,34	"	"	0,371	"	0,332	0,524
73	120,00	0,190	"	0,377	"	0,348	0,545
74	121,71	"	"	0,395	"	0,369	0,559
75	123,66	"	"	0,405	"	0,397	0,544
76	125,66	"	"	0,423	"	0,401	0,570

NUMÉRO de chaque profil.	DISTANCE à l'origine.	COTES de nivellement du fond (le profil n° 47 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.				
			EXPÉRIENCE n° 1. Débit par seconde 0mc,307.	EXPÉRIENCE n° 2. Débit par seconde 0mc,515.	EXPÉRIENCE n° 3. Débit par seconde 0mc,721.	EXPÉRIENCE n° 4. Débit par seconde 0mc,927.	EXPÉRIENCE n° 5. Débit par seconde 1mc,030.
77	127,04	"	"	0,431	"	0,398	0,581
78	128,34	"	"	0,435	"	0,410	0,605
79	129,71	0,245	"	0,443	"	0,422	0,615
80	131,71	"	"	0,450	"	0,441	0,604
81	133,65	"	"	0,466	"	0,456	0,619
82	135,65	"	"	0,468	"	0,462	0,627
83	137,65	"	"	0,482	"	0,474	0,633
84	138,89	"	"	0,482	"	0,480	0,640
85	140,03	0,294	"	0,491	0,208	0,478	0,649
86	141,70	"	"	0,497	0,201	0,487	0,646
87	143,36	"	"	0,507	0,212	0,500	0,663
88	145,04	"	"	0,512	0,212	0,509	0,669
89	146,69	"	"	0,522	0,210	0,522	0,680
90	148,37	"	"	0,533	0,212	0,533	0,693
91	150,00	0,337	0,116	0,535	0,198	0,531	0,691
92	151,56	"	0,131	0,545	0,197	0,541	0,696
93	153,25	"	0,136	0,564	0,219	0,564	0,712
94	154,90	"	0,129	0,570	0,211	0,563	0,722
95	156,50	"	0,127	0,566	0,206	0,579	0,724
96	158,14	"	0,123	0,585	0,207	0,588	0,733
97	160,00	0,386	0,121	0,602	0,204	0,603	0,749
98	162,10	"	0,116	0,583	0,302	0,598	0,775
99	164,10	"	0,117	0,608	0,303	0,620	0,786
100	166,10	"	0,129	0,619	0,311	0,632	0,805
101	168,02	"	0,179	0,635	0,347	0,644	0,817
102	170,09	0,432	0,171	0,634	0,344	0,645	0,815
103	171,79	"	0,196	0,643	0,367	0,666	0,835
104	173,44	"	0,200	0,658	0,369	0,666	0,841
105	175,16	"	0,206	0,661	0,366	0,676	0,844
106	176,72	"	0,222	0,669	0,393	0,683	0,855
107	178,22	"	0,233	0,680	0,388	0,696	0,853
108	180,00	0,487	0,245	0,690	0,408	0,703	0,869
109	181,92	"	0,250	0,702	0,424	0,714	0,875
110	183,82	"	0,258	0,710	0,428	0,719	0,875
111	185,52	"	0,277	0,726	0,449	0,740	0,894
112	186,92	"	0,278	0,729	0,451	0,752	0,905
113	188,22	"	0,291	0,741	0,465	0,762	0,913
114	189,67	0,536	0,297	0,746	0,469	0,763	0,918
115	191,13	"	0,303	0,748	0,469	0,761	0,925
116	192,61	"	0,305	0,748	0,472	0,764	0,925
117	194,26	"	0,308	0,755	0,482	0,763	0,934
118	195,97	"	0,318	0,766	0,494	0,779	0,941
119	197,23	"	0,316	0,766	0,495	0,788	0,945
120	198,53	"	0,325	0,777	0,501	0,789	0,946

SÉRIE N° 91. (Voir p. 289, pl. XXVIII.)

EXPÉRIENCES SUR LES RESSAUTS.

Pente longitudinale du fond : $0^{m},0049$ par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de $1^{m},99$ de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences n°s 1, 2, 3 et 6 ; temps à peu près calme pour les autres. — Température de l'eau : 22° pour les expériences n°s 1 et 2 ; 23°,5 pour les autres. — Dates des expériences : 25 juillet ; 11, 13 et 16 août 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 47 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},637$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},850$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde $1^{mc},030$.
47	80,04	0	0,187	0,225	0,273	0,202	0,233	0,257	0,197	0,260	0,276
52	88,64	»	0,187	0,234	0,259	0,192	0,221	0,253	0,197	0,231	0,271
53	90,25	0,047	0,187	0,223	0,264	0,190	0,228	0,259	0,242	0,233	0,268
54	91,75	»	0,181	0,223	0,264	0,194	0,225	0,255	0,252	0,269	0,268
55	93,19	»	0,180	0,215	0,254	0,260	0,222	0,248	0,293	0,307	0,376
56	94,72	»	0,193	0,215	0,251	0,277	0,219	0,246	0,297	0,352	0,392
57	96,48	»	0,187	0,231	0,263	0,293	0,251	0,263	0,318	0,349	0,403
58	98,36	»	0,204	0,236	0,254	0,296	0,301	0,266	0,309	0,370	0,409
59	100,00	0,097	0,173	0,234	0,270	0,313	0,312	0,266	0,318	0,348	0,408
60	101,59	»	0,185	0,229	0,259	0,325	0,343	0,387	0,345	0,375	0,441
61	103,15	»	0,308	0,267	0,260	0,331	0,364	0,363	0,359	0,407	0,448
62	104,74	»	0,325	0,300	0,250	0,344	0,385	0,375	0,361	0,407	0,438
63	106,04	»	0,316	0,341	0,296	0,360	0,383	0,379	0,364	0,423	0,459
64	107,34	»	0,335	0,370	0,354	0,358	0,389	0,419	0,371	0,420	0,464
65	108,70	»	0,351	0,376	0,425	0,361	0,390	0,443	0,379	0,435	0,470
66	110,00	0,149	0,334	0,389	0,380	0,368	0,393	0,440	0,379	0,429	0,468
67	111,34	»	0,358	0,395	0,362	0,372	0,401	0,448	0,384	0,438	0,471
68	112,65	»	0,360	0,401	0,418	0,368	0,403	0,448	0,395	0,447	0,482
69	113,99	»	0,353	0,399	0,432	0,386	0,404	0,458	0,392	0,443	0,482
70	115,34	»	0,360	0,378	0,398	0,370	0,404	0,452	0,392	0,442	0,481
71	116,68	»	0,362	0,374	0,396	0,386	0,411	0,466	0,406	0,458	0,488
72	118,34	»	0,369	0,405	0,416	0,398	0,424	0,483	0,401	0,467	0,500
73	120,00	0,190	0,390	0,417	0,464	0,415	0,443	0,472	0,425	0,471	0,522
74	121,71	»	0,404	0,430	0,467	0,427	0,457	0,508	0,442	0,486	0,538
75	123,66	»	0,417	0,437	0,454	0,430	0,469	0,496	0,457	0,481	0,525
76	125,66	»	0,422	0,464	0,497	0,440	0,471	0,526	0,461	0,497	0,539
77	127,04	»	0,426	0,457	0,483	0,446	0,471	0,519	0,455	0,501	0,539
78	128,34	»	0,439	0,462	0,489	0,463	0,493	0,531	0,470	0,520	0,569
79	129,71	0,245	0,454	0,478	0,498	0,471	0,498	0,540	0,480	0,526	0,574

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 47 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.								
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0mc,637.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0mc,850.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1mc,030.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde 0mc,618.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde 0mc,824.	EXPÉRIENCE N° 9. Débit par seconde 1mc,030.
80	131,71	"	0,456	0,481	0,506	0,468	0,491	0,547	0,486	0,526	0,582
81	133,65	"	0,468	0,505	0,522	0,480	0,517	0,562	0,496	0,533	0,592
82	135,65	"	0,477	0,521	0,522	0,487	0,523	0,569	0,509	0,553	0,594
83	137,65	"	0,485	0,525	0,546	0,508	0,545	0,584	0,515	0,563	0,616
84	138,89	"	0,487	0,534	0,552	0,512	0,545	0,590	0,527	0,572	0,608
85	140,03	0,294	0,503	0,553	0,582	0,528	0,556	0,602	0,535	0,583	0,620
86	141,70	"	0,508	0,543	0,577	0,524	0,561	0,605	0,539	0,587	0,630
87	143,36	"	0,517	0,554	0,573	0,535	0,561	0,596	0,552	0,595	0,644
88	145,04	"	0,519	0,553	0,593	0,540	0,568	0,607	0,544	0,590	0,633
89	146,69	"	0,536	0,561	0,595	0,544	0,577	0,622	0,559	0,608	0,647
90	148,37	"	0,539	0,585	0,603	0,559	0,590	0,629	0,566	0,620	0,656
91	150,00	0,337	0,545	0,592	0,618	0,562	0,598	0,644	0,578	0,631	0,676
92	151,56	"	0,551	0,592	0,625	0,572	0,603	0,644	0,584	0,633	0,678
93	153,25	"	0,570	0,608	0,622	0,583	0,620	0,648	0,593	0,636	0,687
94	154,90	"	0,576	0,617	0,640	0,585	0,621	0,662	0,601	0,647	0,691
95	156,50	"	0,578	0,614	0,648	0,594	0,628	0,670	0,616	0,658	0,699
96	158,14	"	0,585	0,620	0,655	0,604	0,634	0,677	0,623	0,667	0,715
97	160,00	0,386	0,599	0,641	0,662	0,614	0,651	0,692	0,627	0,677	0,726
98	162,10	"	0,605	0,643	0,674	0,621	0,654	0,704	0,645	0,685	0,736
99	164,10	"	0,613	0,653	0,687	0,631	0,663	0,714	0,650	0,700	0,740
100	166,10	"	0,633	0,670	0,695	0,620	0,673	0,716	0,661	0,704	0,749
101	168,02	"	0,650	0,687	0,701	0,648	0,688	0,733	0,673	0,722	0,761
102	170,09	0,432	0,650	0,688	0,710	0,651	0,687	0,732	0,675	0,724	0,765
103	171,79	"	0,662	0,696	0,716	0,671	0,700	0,747	0,680	0,735	0,774
104	173,44	"	0,666	0,713	0,731	0,675	0,707	0,755	0,683	0,744	0,784
105	175,16	"	0,673	0,717	0,732	0,672	0,709	0,756	0,694	0,740	0,789
106	176,72	"	0,681	0,726	0,749	0,692	0,732	0,778	0,714	0,773	0,810
107	178,22	"	0,694	0,738	0,749	0,704	0,743	0,788	0,724	0,776	0,822
108	180,00	0,487	0,702	0,747	0,766	0,706	0,744	0,793	0,728	0,778	0,824
109	181,92	"	0,707	0,745	0,773	0,717	0,755	0,807	0,739	0,774	0,835
110	183,82	"	0,716	0,757	0,782	0,729	0,763	0,815	0,750	0,796	0,845
111	185,52	"	0,724	0,780	0,798	0,743	0,779	0,823	0,764	0,802	0,856
112	186,92	"	0,736	0,778	0,800	0,747	0,781	0,825	0,765	0,809	0,861
113	188,22	"	0,746	0,785	0,810	0,761	0,796	0,844	0,781	0,826	0,868
114	189,67	0,536	0,747	0,799	0,818	0,759	0,796	0,844	0,777	0,832	0,872
115	191,13	"	0,754	0,795	0,817	0,768	0,803	0,851	0,784	0,827	0,883
116	192,61	"	0,757	0,801	0,821	0,767	0,804	0,852	0,786	0,837	0,886
117	194,26	"	0,764	0,804	0,822	0,770	0,805	0,852	0,787	0,833	0,882
118	195,97	"	0,770	0,814	0,840	0,787	0,829	0,871	0,812	0,864	0,909
119	197,23	"	0,770	0,809	0,835	0,792	0,830	0,873	0,811	0,851	0,900
120	198,53	"	0,741	0,769	0,786	0,754	0,774	0,809	0,762	0,802	0,836

SÉRIE N° 92. (Voir p. 289, pl. XXVIII.)

EXPÉRIENCES SUR LES RESSAUTS.

Pente longitudinale du fond : $0^{m},008$ par mètre. — Figure de la section transversale : rectangle de $1^{m},99$ de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent d'amont assez fort. — Température de l'eau : 19°. — Dates des expériences : 29 août ; 1, 2 et 3 septembre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 366 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.							
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},307$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},515$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},927$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},030$.	EXPÉRIENCE N° 7. Débit par seconde $1^{mc},133$.	EXPÉRIENCE N° 8. Débit par seconde $1^{mc},236$.
366	560,69	0	0,093	0,136	0,157	0,181	0,189	0,208	0,222	0,240
371	569,73	0,079	0,093	0,131	0,160	0,170	0,187	0,194	0,219	0,238
378	580,47	0,174	0,090	0,127	0,161	0,179	0,192	0,198	0,225	0,234
379	581,87	"	0,180	0,126	"	"	"	"	"	"
380	583,37	"	0,192	0,127	"	"	"	"	"	"
381	585,04	"	0,224	0,219	"	"	"	"	"	"
382	586,45	"	0,233	0,285	0,174	0,184	"	"	"	"
383	588,15	"	0,257	0,279	0,174	0,186	0,203	"	"	"
384	589,78	0,255	0,275	0,316	0,342	0,206	0,208	0,214	0,237	0,260
385	591,26	"	0,264	0,322	0,352	0,328	0,209	0,213	0,236	0,263
386	592,62	"	0,288	0 317	0,369	0,377	0,361	0,434	0,241	0,261
387	594,08	"	0,301	0,353	0,385	0,395	0,385	0,429	0,447	0,499
388	595,48	"	0,332	0,394	0,403	0,421	0,450	0,459	0,467	0,509
389	596,53	0,320	0,339	0,395	0,421	0,437	0,434	0,466	0,458	0,503

SÉRIE N° 93. (Voir p. 290, pl. XXVIII.)

EXPÉRIENCE SUR LES RESSAUTS.

Pente longitudinale du fond : voir pl. XXVIII. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,98 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : vent de côté pour les expériences n° 1, 3, 4 et 8 ; temps à peu près calme pour les autres. — Température de l'eau : 14°,5. — Dates des expériences : 22, 23, 27, 28 et 29 avril 1858.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 109 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.							
			EXPÉRIENCE n° 1. Débit par seconde 0m,515.	EXPÉRIENCE n° 2. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE n° 3. Débit par seconde 0m,721.	EXPÉRIENCE n° 4. Débit par seconde 0m,824.	EXPÉRIENCE n° 5. Débit par seconde 0m,927.	EXPÉRIENCE n° 6. Débit par seconde 1m,030.	EXPÉRIENCE n° 7. Débit par seconde 1m,133.	EXPÉRIENCE n° 8. Débit par seconde 1m,236.
109	181,92	0	0,151	0,172	0,186	0,203	0,218	0,237	0,252	0,266
115	191,13	0,050	0,152	0,168	0,188	0,202	0,220	0,232	0,250	0,260
117	194,26	0,070	0,153	0,170	0,188	0,201	0,218	0,233	0,251	0,268
119	197,23	0,086	0,153	0,173	0,189	0,201	0,215	0,238	0,256	0,268
121	200,00	0,109	0,162	0,171	0,190	0,208	0,221	0,240	0,255	0,270
122	201,53	"	0,232	0,265	0,307	0,353	0,361	0,405	0,427	0,449
123	202,91	"	0,297	0,288	0,353	0,382	0,422	0,430	0,458	0,427
124	204,35	0,155	0,299	0,337	0,359	0,432	0,424	0,392	0,441	0,456
125	205,80	"	0,315	0,357	0,347	0,413	0,426	0,408	0,442	0,510
126	207,22	"	0,334	0,354	0,370	0,436	0,418	0,429	0,456	0,538
127	208,76	"	0,332	0,359	0,376	0,400	0,427	0,417	0,474	0,531
128	210,31	0,169	0,334	0,355	0,392	0,397	0,440	0,437	0,483	0,531
129	211,67	"	0,334	0,354	0,387	0,399	0,418	0,448	0,475	0,515
130	213,51	"	0,325	0,353	0,398	0,407	0,424	0,469	0,465	0,530
131	215,17	"	0,335	0,364	0,397	0,414	0,439	0,446	0,469	0,531
132	216,77	"	0,352	0,385	0,405	0,428	0,440	0,444	0,498	0,537
133	218,37	"	0,343	0,364	0,409	0,441	0,454	0,461	0,494	0,505
134	220,00	0,174 0,117	0,271	0,310	0,335	0,391	0,377	0,401	0,423	0,473
135	221,46	"	0,249	0,275	0,308	0,339	0,359	0,379	0,418	0,440
136	222,72	"	0,257	0,279	0,305	0,345	0,356	0,389	0,405	0,416
137	223,99	"	0,239	0,285	0,302	0,338	0,371	0,367	0,372	0,425
138	225,49	"	0,244	0,271	0,305	0,323	0,356	0,361	0,388	0,429
139	227,01	"	0,241	0,280	0,316	0,328	0,363	0,373	0,390	0,434
140	228,39	"	0,261	0,284	0,317	0,338	0,368	0,368	0,393	0,441
141	229,77	0,132	0,253	0,290	0,313	0,349	0,369	0,370	0,402	0,440
149	240,99	0,150	0,257	0,292	0,320	0,343	0,368	0,390	0,422	0,436

SÉRIE N° 94. (Voir p. 290, pl. XXVIII.)

EXPÉRIENCES SUR LES RESSAUTS.

Pente longitudinale du fond : voir la planche XXVIII. — Figure de la section transversale : rectangle de 1m,99 de largeur. — Nature de la paroi : planches. — Direction et intensité du vent : temps calme. — Température de l'eau : 12° — Dates des expériences : 22 et 23 octobre 1856.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 73 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.					
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde 0m.c.,515.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde 0m,618.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde 0m.c.,721.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde 0m.c.,824.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde 0m.c.,927.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde 1m.c.,236.
73	120,00	0	0,151	0,171	0,187	0,206	0,224	0,284
79	129,71	0,055	0,148	0,173	0,191	0,209	0,220	0,265
80	131,71	»	0,150	0,174	0,195	0,216	0,231	0,274
81	133,65	»	0,159	0,177	0,191	0,212	0,228	0,281
82	135,65	0,083 0,176	0,150	0,170	0,187	0,207	0,226	0,266
83	137,65	»	0,094	0,111	0,125	0,149	0,156	0,199
84	138,89	»	0,115	0,131	0,148	0,167	0,175	0,274
85	140,03	0,198	0,116	0,134	0,140	0,160	0,177	0,220
91	150,00	0,241	0,135	0,153	0,172	0,188	0,169	0,258

NUMÉRO DE CHAQUE PROFIL.	DISTANCE À L'ORIGINE.	COTES DE NIVELLEMENT DU FOND (le profil n° 73 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR DU COURANT A CHAQUE PROFIL.					
			EXPÉRIENCE N° 1. Débit par seconde $0^{mc},515$.	EXPÉRIENCE N° 2. Débit par seconde $0^{mc},618$.	EXPÉRIENCE N° 3. Débit par seconde $0^{mc},721$.	EXPÉRIENCE N° 4. Débit par seconde $0^{mc},824$.	EXPÉRIENCE N° 5. Débit par seconde $0^{mc},927$.	EXPÉRIENCE N° 6. Débit par seconde $1^{mc},236$.
97	160,00	0,290	0,148	0,156	0,169	0,188	0,204	0,264
98	162,10	"	"	"	"	"	"	0,398
99	164,10	"	"	"	"	"	"	0,472
100	166,10	"	"	"	"	"	"	0,527
101	168,02	"	"	"	"	"	"	0,534
102	170,09	0,336	0,163	0,174	0,195	0,217	0,234	0,522
103	171,79	"	"	"	"	"	"	0,562
104	173,44	"	"	"	"	"	"	0,543
105	175,16	"	"	"	"	"	"	0,537
106	176,72	"	"	"	"	"	"	0,559
107	178,22	"	"	"	"	"	"	0,597
108	180,00	0,391	0,158	0,171	0,191	0,208	0,232	0,607
109	181,92	"	"	0,179	0,299	0,332	0,360	0,620
110	183,82	"	0,160	0,243	"	"	"	0,623
111	185,52	"	0,222	"	"	"	"	0,633
112	186,92	"	"	"	"	"	"	0,630
113	188,22	"	"	"	"	"	"	0,654
114	189,67	0,440	0,259	0,308	0,352	0,380	0,428	0,656
115	191,13	"	"	"	"	"	"	0,666
116	192,61	"	"	"	"	"	"	0,660
117	194,26	"	"	"	"	"	"	0,663
118	195,97	"	"	"	"	"	"	0,680
119	197,23	"	"	"	"	"	"	0,684
120	198,53	"	"	"	"	"	"	0,684
121	200,00	0,491	0,332	0,333	0,417	0,457	0,508	0,699
128	210,31	0,515	0,357	0,404	0,455	0,482	0,519	0,717

SÉRIE N° 95. (Voir p. 290, pl. XXVIII.)

RESSAUTS OBSERVÉS SUR LE PONT AQUEDUC DE ROQUEFAVOUR (CANAL DE MARSEILLE) ET SUR LE PONT AQUEDUC DE CRAU (CANAL DE CRAPONNE).

Voir pour les renseignements les expériences n°s 1 et 2 de la série n° 1.

PROFONDEUR DU COURANT POUR CHAQUE EXPÉRIENCE.

[A]

NUMÉRO de chaque profil.	DISTANCE à l'origine.	COTES de nivellement du fond (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR du courant à chaque profil.	NUMÉRO de chaque profil.	DISTANCE à l'origine.	COTES de nivellement du fond (le profil n° 1 étant pris pour point de départ).	PROFONDEUR du courant à chaque profil.
EXPÉRIENCE N° 1, SUR LE PONT AQUEDUC DE ROQUEFAVOUR.							
1[1]	0	0	0,761	17	53,13	"	1,171
2	20,00	0,078	0,784	18	54,83	"	1,087
3	23,36	"	0,790	19	56,13	"	1,183
4	25,36	0,097	0,848	20	57,43	"	1,100
5	27,46	"	1,017	21	59,28	"	1,185
6	30,56	"	0,932	22	60,95	0,241	1,127
7	32,76	"	1,064	23	62,17	"	1,204
8	35,26	"	0,978	24	64,42	"	1,140
9	37,36	"	1,091	25	66,02	"	1,207
10	39,56	"	1,026	26	67,62	"	1,152
11	41,56	0,160	1,117	27	68,92	"	1,232
12	42,96	"	1,019	28	70,82	"	1,173
13	44,86	"	1,121	29	72,72	0,282	1,236
14	47,06	"	1,074	30	80,00	0,301	1,206
15	49,28	"	1,119	31	96,16	0,383	1,324
16	51,08	"	1,107				
EXPÉRIENCE N° 2, SUR LE PONT AQUEDUC DE CRAU.							
1	0	0	0,835	6	75,00	0,431	0,560
2	25,00	0,063	0,790	7	76,50	"	0,915
3	50,00	0,131	0,535	8	84,00	0,540	0,980
4	65,00	"	0,460	9[2]	100,00	0,560	0,985
5	73,50	"	0,430				

[1] Le profil n° 1 coïncide avec le profil n° 11, expérience n° 1 (série n° 1).
[2] Le profil n° 9 coïncide avec le profil n° 1 de l'expérience n° 2 (série n° 1).

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Rapport à l'Académie des sciences..... V
Avant-propos..... XXXI
INTRODUCTION..... 1

PREMIÈRE PARTIE.

DESCRIPTION DES APPAREILS ET DES PROCÉDÉS D'EXPÉRIMENTATION.

CHAPITRE PREMIER.

DESCRIPTION DES APPAREILS.

Dispositions du vannage de prise d'eau..... 39
Dispositions de la rigole d'expérience..... 41
Procédés employés pour le nivellement de la surface du courant..... 42
Mesure des vitesses. — Flotteurs..... 43
Tube jaugeur. — Théorie et description sommaire..... 44
Description et usage du tube jaugeur employé dans le cours des expériences..... 49

CHAPITRE II.

TARAGE DES INSTRUMENTS EMPLOYÉS DANS LE COURS DES EXPÉRIENCES.

1° DÉTERMINATION DU DÉBIT DES VANNES.

Coefficient de la dépense applicable aux vannes de prise d'eau..... 52
Tarage provisoire des orifices de jaugeage en 1857..... 53
Tarage définitif en 1860..... 54
Opérations de tarage spéciales pour les petits débits..... 60
Valeurs définitives des coefficients de la dépense..... 61

2° DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE TARAGE DU TUBE JAUGEUR.

Méthodes diverses pour la détermination de ce coefficient..... 63
Première méthode. — Tarage à l'aide de flotteurs..... 64
Deuxième méthode. — Tarage dans une eau tranquille..... 65
Troisième méthode. — Tarage par la comparaison des débits..... 68

DEUXIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LES COURANTS À RÉGIME UNIFORME.

CHAPITRE PREMIER.

INFLUENCE DE LA NATURE DE LA PAROI SUR L'ÉCOULEMENT.

Pages.

Incertitude des formules usitées jusqu'à ce jour 71
Expériences préliminaires faites en 1855 sur le canal de Marseille 73
Expériences comparatives de 1856 75
Expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne en 1857 et 1859 80
Formules d'interpolation 81
Représentation graphique des séries n°s 2, 3, 4, 5 et 7 83
Nouvelles expériences comparatives en 1858 et 1859 85
Représentation graphique des séries n°s 9 à 17 88
Impossibilité de conserver la formule binôme en usage 99

CHAPITRE II.

INFLUENCE DE LA FORME GÉOMÉTRIQUE DE LA SECTION SUR L'ÉCOULEMENT.

Sommaire du chapitre 92
Sections rectangulaires, trapézoïdales et triangulaires 92
Sections demi-circulaires 98
Cas dans lequel la section est très-petite 103
Résumé du chapitre 108

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES PRATIQUES SUR LES RIGOLES DU CANAL DE BOURGOGNE.

1° Expériences sur la rigole de décharge du réservoir de Grosbois 110
Comparaison des résultats précédents avec ceux qu'avait obtenus M. Baumgarten sur le canal de Marseille 112
2° Expériences sur la rigole de décharge du bief n° 52 113
3° Expériences sur les rigoles de Chazilly et de Grosbois 114
Dispositions générales adoptées pour ces expériences 114
Tableaux des résultats obtenus 119
Examen comparatif des expériences 122

CHAPITRE IV.

FORMULES D'INTERPOLATION PRATIQUES.

Considérations générales 125
Discussion des expériences qui servent de base aux formules de Prony et d'Eytelwein .. 126

Pages.
Formules nouvelles..... 129
Formule n° 1 (parois très-unies, ciment, bois raboté avec soin, etc.)..... 130
Formule n° 2 (parois unies, pierre de taille, brique, planche, etc.)..... 131
Formule n° 3 (parois peu unies en maçonnerie de moellons)..... 133
Formule n° 4 (parois en terre)..... 134
Application des formules précédentes aux expériences..... 142

TROISIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS LES COURANTS.

CHAPITRE PREMIER.

RAPPORT ENTRE LA VITESSE MOYENNE ET LA VITESSE MAXIMA.

Formule de M. de Prony..... 145
Procédés employés pour mesurer la vitesse maxima..... 145
Tableaux des expériences..... 148
Remarques sur les tableaux précédents..... 151
Formule nouvelle..... 153
Application de la formule nouvelle aux expériences..... 158

CHAPITRE II.

RECHERCHES SUR LA RÉSISTANCE DE L'AIR À LA SURFACE D'UN COURANT.

But des expériences faites en 1857 et 1859 dans un tuyau rectangulaire..... 162
Dispositions adoptées pour les expériences de 1857..... 163
Résultats des expériences de 1857..... 167
Expériences de 1859..... 169
Discussion des expériences..... 171
Représentation graphique..... 174
Expériences comparatives exécutées à ciel ouvert..... 175
Conclusions du chapitre..... 180

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS L'INTÉRIEUR DES COURANTS.

Énumération des vingt-trois séries d'expériences..... 182
Tableaux renfermant les résultats des expériences des vingt-trois séries (nos 55 à 77).. 187
Courbes d'égale vitesse..... 222
Remarques générales sur la disposition de ces courbes..... 222

CHAPITRE IV.

DISCUSSION DES EXPÉRIENCES FAITES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS LES CANAUX DÉCOUVERTS.

Pages.
Distribution des vitesses dans un canal rectangulaire très-large 226
Représentation graphique des résultats 230
Correction à apporter au coefficient de la formule 232
Distribution des vitesses dans un canal rectangulaire quelconque 233
Relations entre la vitesse moyenne, la vitesse maxima et la vitesse au fond dans un canal rectangulaire très-large 236
Distribution des vitesses dans un canal trapézoïdal ou triangulaire 238
Distribution des vitesses dans un canal demi-circulaire 239
Représentation graphique des résultats 242
Relations entre la vitesse moyenne, la vitesse maxima et la vitesse au fond dans un canal demi-circulaire 244
Caractères généraux de la courbe des vitesses dans un canal quelconque 245

QUATRIÈME PARTIE.

EXPÉRIENCES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

CHAPITRE PREMIER.

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

Formule fondamentale 247
Discussion générale 250
Conditions nécessaires pour la production du ressaut 252
Détermination du coefficient α, considérations théoriques 255
Valeur du coefficient α déduite de l'expérience directe 258

CHAPITRE II.

EXPÉRIENCES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ.

1° COURANTS DANS LESQUELS LE RESSAUT NE PEUT SE PRODUIRE.

Tableaux des expériences 265
Représentation graphique des expériences précédentes 268
Comparaison de ces expériences avec celles qui se rapportent au cas du régime uniforme. 269
Expériences pour déterminer la distribution des vitesses dans le cas du remous d'abaissement 273

2° COURANTS DANS LESQUELS LE REMOUS DE CONFLEMENT S'OPÈRE PAR UN RESSAUT.

Pages.
Tableaux des expériences..... 287
Caractères généraux du ressaut..... 291
Comparaison des hauteurs observées et des hauteurs calculées..... 292
Ressaut d'abaissement..... 296

NOTES.

Note A. — Expériences faites en 1856 et 1860 pour apprécier l'influence des pertes par infiltration dans la rigole..... 297
Note B. — Coefficient de tarage du tube jaugeur..... 302
Note C. — Détermination du débit des rigoles de Chazilly et Grosbois..... 303
Note D. — Expériences faites sur la Seine et sur la Saône..... 308
Note E. — Expériences sur des déversoirs diversement inclinés par rapport à la direction du courant..... 310

TABLES.

Explications préliminaires..... 315
Table n° 1 donnant les valeurs de $\frac{RI}{U^2}$ correspondantes aux valeurs du rayon moyen R... 317
Table n° 2 donnant les valeurs de $\frac{U}{\sqrt{RI}}$ correspondantes aux valeurs du rayon moyen R. 323
Table n° 3 donnant les valeurs du rapport $\frac{U}{V}$ correspondantes aux valeurs de $\frac{RI}{U^2}$..... 326
Table n° 4 donnant les valeurs du rapport $\frac{U}{V}$ correspondantes aux valeurs du rayon moyen R..... 328
Tableaux renfermant les résultats de cinq cent trente-huit expériences sur des canaux découverts classés suivant les différentes natures de paroi..... 330

APPENDICE

CONTENANT LES RÉSULTATS DÉTAILLÉS DES EXPÉRIENCES.

Explications préliminaires..... 351

PREMIÈRE SECTION.

EXPÉRIENCES SUR LES COURANTS À RÉGIME UNIFORME (séries n° 1 à 50).

Série n° 1. — Expériences sur le canal de Marseille et le pont aqueduc de Crau..... 353
—— n° 2. — Expériences sur un canal rectangulaire en ciment..... 356
—— n° 3. — Expériences sur un canal rectangulaire en briques..... 359
—— n° 4. — Expériences sur un canal rectangulaire revêtu de petit gravier..... 362
—— n° 5. — Expériences sur un canal rectangulaire revêtu de gros gravier..... 365

Pages.

Séries nos 6, 7, 8, 9, 10 et 11. — Expériences sur des canaux rectangulaires en planches de 2 mètres de largeur 368
—— nos 12, 13 et 14. — Expériences sur des canaux rectangulaires en planches recouvertes de liteaux espacés de 0m,01 388
—— nos 15, 16 et 17. — Expériences sur des canaux rectangulaires en planches recouvertes de liteaux espacés de 0m,05 397
—— n° 18. — Expériences sur un canal rectangulaire en planches de 1m,20 de largeur 407
—— n° 19. — Expériences sur un canal rectangulaire en planches de 0m,80 de largeur 410
—— n° 20. — Expériences sur un canal rectangulaire en planches de 0m,48 de largeur 413
—— nos 21 et 22. — Expériences sur des canaux trapézoïdaux en planches 415
—— n° 23. — Expériences sur un canal triangulaire en planches 421
—— n° 24. — Expériences sur un canal demi-circulaire en ciment pur 424
—— n° 25. — Expériences sur un canal demi-circulaire en ciment mélangé d'un tiers de sable 427
—— n° 26. — Expériences sur un canal demi-circulaire en planches 430
—— n° 27. — Expériences sur un canal demi-circulaire revêtu de petit gravier 433
—— nos 28, 29, 30 et 31. — Expériences sur de petits canaux rectangulaires de 0m,10 de largeur 436
—— nos 32 et 33. — Expériences sur la rigole de décharge du réservoir de Grosbois 443
—— nos 34 et 35. — Expériences sur la rigole de décharge du bief n° 52 du canal de Bourgogne 446
—— nos 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42 et 43. — Expériences sur la rigole de Chazilly 448
—— nos 44, 45, 46, 47, 48, 49 et 50. — Expériences sur la rigole de Grosbois 453

DEUXIÈME SECTION.

EXPÉRIENCES SUR LA DISTRIBUTION DES VITESSES DANS L'INTÉRIEUR DES COURANTS (séries nos 51 à 77).

Séries nos 51, 52, 53 et 54. — Expériences comparatives sur la distribution des vitesses dans un tuyau rectangulaire fermé et dans un canal découvert 458
—— n° 55. — Expériences sur la distribution des vitesses dans un canal rectangulaire en ciment 460
—— n° 56. — Expériences dans un canal rectangulaire revêtu de petit gravier 460
—— n° 57. — Expériences dans un canal rectangulaire revêtu de gros gravier 460
—— nos 58, 59 et 60. — Expériences dans des canaux rectangulaires en planches de 2 mètres de largeur 461
—— nos 61, 62 et 63. — Expériences dans des canaux rectangulaires en planches recouvertes de liteaux espacés de 0m,01 462
—— nos 64, 65 et 66. — Expériences dans des canaux rectangulaires en planches recouvertes de liteaux espacés de 0m,05 463

Pages.

Série n° 67. — Expériences dans un canal rectangulaire en planches de 0m,80 de largeur..... 464
—— nos 68 et 69. — Expériences dans des canaux trapézoïdaux en planches..... 465
—— n° 70. — Expériences dans un canal triangulaire en planches..... 466
—— n° 71. — Expériences dans un canal demi-circulaire en ciment pur..... 467
—— n° 72. — Expériences dans un canal demi-circulaire en ciment mélangé d'un tiers de sable..... 467
—— n° 73. — Expériences dans un canal demi-circulaire en planches..... 467
—— n° 74. — Expériences dans un canal demi-circulaire revêtu de petit gravier..... 467
—— n° 75. — Expériences dans la rigole murée du Tillot..... 469
—— n° 76. — Expériences dans la rigole murée du Roussot..... 470
—— n° 77. — Expériences dans la rigole murée de Grosbois..... 471

TROISIÈME SECTION.

EXPÉRIENCES SUR LE MOUVEMENT VARIÉ (séries nos 78 à 95).

Séries nos 78, 79 et 80. — Expériences sur le remous de gonflement dans le cas où le ressaut ne peut se produire..... 472
—— nos 81 et 82. — Expériences sur le remous d'abaissement..... 475
—— n° 83. — Expériences dans l'aqueduc de ceinture de Paris..... 477
—— nos 84, 85, 86, 87 et 88. — Expériences sur la distribution des vitesses dans le cas du remous d'abaissement..... 478
—— nos 89, 90, 91, 92, 93 et 94. — Expériences diverses sur le phénomène du ressaut. 483
—— n° 95. — Ressauts observés sur le pont aqueduc de Crau et sur celui de Roquefavour..... 494

RECHERCHES

HYDRAULIQUES

EXTRAIT DU TOME XIX

DES MÉMOIRES PRÉSENTÉS PAR DIVERS SAVANTS

À L'INSTITUT IMPÉRIAL DE FRANCE

DUNOD, ÉDITEUR,

PRÉCÉDEMMENT CARILIAN-GŒURY ET Vve DALMONT,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

QUAI DES AUGUSTINS, 49.

RECHERCHES
HYDRAULIQUES

ENTREPRISES

PAR M. H. DARCY

INSPECTEUR GÉNÉRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

CONTINUÉES

PAR M. H. BAZIN

INGÉNIEUR DES PONTS ET CHAUSSÉES

DEUXIÈME PARTIE

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES RELATIVES AUX REMOUS
ET À LA PROPAGATION DES ONDES

PARIS

IMPRIMERIE IMPÉRIALE

M DCCC LXV

RAPPORT

FAIT

A L'ACADÉMIE DES SCIENCES,

DANS SA SÉANCE DU 10 AOÛT 1863,

SUR LA PARTIE DU MÉMOIRE DE M. BAZIN

RELATIVE

AUX REMOUS ET A LA PROPAGATION DES ONDES.

COMMISSAIRES :

MM. Dupin, Poncelet, Combes, Morin, Clapeyron, rapporteur.

M. Bazin, dans une seconde partie de ses recherches expérimentales sur l'hydraulique, aborde la question si difficile et encore si peu approfondie des mouvements ondulatoires qui se produisent dans les liquides.

Dans un sujet si vaste et renfermant des questions d'un ordre si élevé, M. Bazin a dû restreindre son point de vue ; ses études ont porté seulement sur un cas relativement simple, celui d'ondes isolées se propageant dans des canaux rectilignes dont l'eau est stagnante ou s'écoule avec une vitesse uniforme, soit dans le sens où la vague se propage, soit dans le sens opposé.

Dans les deux premiers cas, l'onde a des dimensions restreintes en

longueur : elle est produite par l'injection subite et de courte durée d'une masse d'eau dans le canal.

Si, au contraire, l'injection dure un temps considérable, la vague prendra en longueur des dimensions beaucoup plus grandes, qui seront en proportion de la durée de l'injection ; l'intumescence ainsi produite prend le nom de *remous*, elle a l'apparence d'une tranche d'eau qui s'avancerait en glissant sur la surface du canal.

Comme dans le cas de la vague isolée, M. Bazin examine le cas où le phénomène se produit dans un canal renfermant de l'eau en repos, et celui où celle-ci s'écoule avec une vitesse uniforme dans le sens où se propage le remous, ou en sens contraire. Ce dernier cas fixe particulièrement l'attention de l'auteur, parce qu'il reproduit, sur une échelle restreinte, le phénomène imposant connu dans la partie maritime des grands fleuves sous différents noms : *barre*, *mascaret*, *pororoca*, et en fournit l'explication naturelle.

Cette partie de l'hydraulique avait été déjà abordée par quelques expérimentateurs, parmi lesquels il convient de citer en première ligne MM. Scott Russell et Bidone. Le premier a publié, en 1845, des expériences très-intéressantes sur la propagation dans un canal rectiligne d'une onde isolée, produite par l'injection subite d'une petite masse d'eau dans le liquide stagnant qui le remplit. Cette onde, qu'il nomme *onde de translation*, *onde solitaire*, jouit de propriétés remarquables : la saillie qu'elle produit à la surface de l'eau est d'une régularité parfaite ; elle marche sans laisser en arrière de traces de son passage et sans que rien annonce en avant sa venue prochaine. Elle parcourt ainsi de grands espaces sans qu'on observe dans sa forme d'altération sensible quand la profondeur reste constante. Sa vitesse est celle qu'acquerrait un corps grave tombant d'une hauteur égale à la moitié de la distance du sommet de la vague au fond du canal.

Cette onde paraît devoir les propriétés particulières qui la caractérisent à ce que le mouvement qui la produit s'étend aux parties les plus profondes du canal. Lorsque l'agitation est seulement superficielle, la loi de propagation est tout autre ; ainsi, comme l'a remarqué M. le général Morin, lorsqu'un canot se meut dans un canal étroit et profond, il produit, dans certaines conditions de vitesse, une vague qui l'accompagne ; si l'on vient à arrêter celui-ci, la vague quitte le canot et se propage en avant, d'abord avec sa vitesse originelle, qui est celle qu'avait le canot,

et par conséquent sans relation avec la profondeur du canal. Ce n'est que plus tard, et lorsque l'agitation superficielle se sera étendue à toute la profondeur de l'eau, que la loi proposée par M. Scott Russell pourra se manifester.

Bidone publia, en 1824, des expériences sur le remous qui se produit dans un canal à faible pente, rempli d'une eau courante, lorsqu'on l'arrête subitement par l'abaissement d'une vanne : l'eau s'élève contre cet obstacle et perd sa vitesse. Ainsi réduite à l'état de repos, elle devient à son tour un obstacle au mouvement de l'eau qui vient ensuite, et dont la vitesse subsiste encore; celle-ci s'élève à son tour en perdant sa vitesse; l'intumescence ainsi produite a une hauteur constante au-dessus du fond, et se propage dans le sens opposé au courant, avec une vitesse uniforme lorsque la profondeur du courant l'est elle-même. Bidone étudie les circonstances diverses du phénomène, et en représente la loi par une formule qui coïncide avec celle de M. Scott Russell lorsque la hauteur de l'intumescence est très-faible.

Les expériences de ces deux auteurs ont été faites dans des canaux de petites dimensions, qui s'éloignaient trop des conditions de la pratique pour qu'elles pussent lui offrir un guide certain.

Cette question du mouvement des vagues ne pouvait manquer d'appeler l'attention des géomètres, qui en ont fait l'objet de recherches suivies; malheureusement les forces de l'analyse moderne n'ont pas prévalu contre les difficultés de la question. Il convient cependant de rappeler ce qu'on lit à ce sujet dans la Mécanique analytique de Lagrange. Il se restreint au cas où le canal est peu profond et horizontal. Il suppose que le fluide, dans son mouvement, ne s'élève ni ne s'abaisse au-dessus ou au-dessous du niveau qu'infiniment peu, et qu'en outre les vitesses horizontales sont aussi très-petites. « Alors, dit-il, la vitesse de « propagation des ondes sera la même que celle qu'un corps grave ac- « querrait en descendant d'une hauteur égale à la moitié de la pro- « fondeur d'eau dans le canal. » Si restreintes que soient les hypothèses dans lesquelles se place Lagrange, il convient donc de faire remonter à lui la découverte de la loi que Scott Russel a eu le mérite de vérifier dans des conditions de grandeur finie, quoique encore bien restreintes.

Cette revue sommaire des travaux antérieurs montre combien les expériences de M. Bazin offraient d'importance et d'opportunité. Pouvant disposer des rigoles d'alimentation et des biefs du canal de Bour-

gogne, il les a faites sur une échelle supérieure à ce qu'avaient pu faire ses prédécesseurs, et qui se rapproche des conditions ordinaires de la pratique. Son canal d'expérience a 2 mètres de largeur, les parois sont formées de madriers jointifs, la section est rectangulaire. Le fond est réglé sur une pente de 1 $\frac{1}{2}$ millimètre par mètre environ. Il opère sur des hauteurs d'eau variant entre $0^m,682$ et $0^m,307$ à l'extrémité la plus profonde, et qui, en raison de l'inclinaison du fond, se réduisent à $0^m,441$ et $0^m,066$ à l'extrémité opposée. L'onde dont on étudie la marche se produit de la manière suivante. A une certaine distance du point où commencent les observations est une prise d'eau en communication avec le canal; on y a établi un barrage percé de plusieurs ouvertures munies de clapets disposés de façon à pouvoir s'ouvrir et se fermer subitement. L'eau retenue à un niveau supérieur peut être injectée à volonté dans le canal et y produire l'intumescence dont on étudie le mouvement. L'agitation tumultueuse qui s'observe d'abord dans le voisinage de la prise d'eau se régularise bientôt, et se résout en une vague aux formes régulières, qui se propage avec une vitesse qui varie avec les divers points d'observation. A mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la vague s'accroît, et si l'on nomme H la profondeur de l'eau avant l'arrivée de la vague au point que l'on considère, et h la hauteur de la vague au-dessus du niveau général, la vitesse de propagation est donnée par la formule

$$\sqrt{g(H+h)}$$

C'est la loi de M. Scott Russell.

On conçoit que cette hauteur croissante de la vague a une limite; il arrive un moment où elle se brise et s'écroule dans un tourbillon d'écume. Ce phénomène se produit lorsque la hauteur s'approche d'être égale à la profondeur du canal. Après que la vague a déferlé, ses débris donnent naissance à une série de vagues plus petites, qui se brisent à leur tour lorsque la profondeur vient à leur manquer.

Si, au lieu d'injecter l'eau dans le canal, on en retire subitement une certaine quantité en lui ouvrant, pendant un temps très-court une issue à travers le barrage placé à l'une de ses extrémités, il se produit une dépression qui se propage sur toute sa longueur; on remarque que cette espèce de vague négative n'a pas des formes aussi nettes et aussi régulières que l'onde saillante étudiée précédemment. L'onde négative

est suivie d'autres ondulations qu'il n'a pas été possible de faire disparaître, comme l'avait aussi constaté M. Scott Russell; elle ne paraît pas non plus pouvoir parcourir d'aussi grands espaces sans déformation sensible. La détermination des circonstances diverses du phénomène n'est pas susceptible d'autant de précision; cependant la vitesse de propagation calculée par la formule

$$\sqrt{g(H-h)}$$

s'accorde fort bien avec l'expérience; la même loi s'appliquerait donc à la vitesse de propagation de l'onde positive et de l'onde négative, puisqu'il suffit, pour passer de la première à la seconde, de changer h en $-h$.

Les mêmes expériences ont été répétées en deux points du canal de Bourgogne sur une plus grande échelle : d'abord dans le bief de partage. La cuvette du canal est en maçonnerie; sa section est un rectangle de $6^m,50$ de largeur; sa profondeur d'eau de $2^m,40$. Les ondes positives étaient produites par l'introduction subite d'un volume d'eau accumulé dans une rigole d'alimentation; les ondes négatives, en ouvrant pendant un instant les vannes de la première écluse du versant de l'Yonne. La même loi se vérifia.

Une seconde série d'expériences eut lieu dans un des biefs du canal de Bourgogne, versant de la Saône. La section du canal était sensiblement un trapèze de 10 mètres de largeur au plafond, avec talus inclinés, à 2 mètres de base sur 1 mètre de hauteur. On a pris pour hauteur H la profondeur moyenne obtenue en divisant la section par la largeur à la ligne d'eau; cette profondeur variait de $1^m,37$ à $1^m,44$. Les ondes positives étaient obtenues en ouvrant les vannes de l'écluse d'amont pendant quelques instants, et les ondes négatives en ouvrant celles de l'écluse d'aval. Les vitesses déduites de la formule s'accordent avec celles de l'expérience, à l'exception toutefois de celles qui se rapportent à la propagation des ondes négatives dans la section à forme trapézoïdale; dans ce dernier cas, la formule donne des vitesses inférieures à celles qu'indique l'expérience. La section du canal paraît donc avoir, dans ce cas, sur la vitesse de propagation, une influence encore peu connue, et qui ferait désirer des expériences sur une plus grande échelle.

Il était encore intéressant de savoir si la même loi s'applique à la propagation de la vague dans un courant marchant dans le même sens ou

dans un sens opposé. Si toutes les molécules d'un courant, comprises dans une même section, étaient animées d'une même vitesse; il n'est pas douteux que, par rapport à un observateur animé de la vitesse du courant, l'eau serait en repos, et que la vitesse relative de la propagation de l'onde serait celle qui vient d'être déterminée, ou, ce qui revient au même, la vitesse absolue mesurée par rapport aux berges du canal serait

$$\sqrt{g\,(H+h)} \pm u$$

u étant la vitesse du cours d'eau. Le signe + se rapporterait au cas où l'onde se propagerait dans le sens du courant, le signe — au cas où elle marcherait dans le sens opposé. Mais il n'en est pas ainsi, et l'inégalité de vitesse, en différents points de la section du cours d'eau, peut altérer d'une manière très-sensible la loi établie pour un liquide en repos. Il était donc intéressant de consulter l'expérience sur ce point.

M. Bazin constate que, lorsqu'une onde positive remonte un courant, elle perd sa régularité de forme, et sa hauteur diminue plus rapidement que dans le cas où l'eau est stagnante : ce phénomène est d'autant plus prononcé que le courant est plus rapide; cependant la formule

$$\sqrt{g\,(H+h)} - u$$

se vérifie encore d'une manière satisfaisante; mais, pour de faibles vitesses de propagation, le calcul donne des valeurs un peu trop grandes; il les donne un peu trop faibles dans le cas des ondes négatives.

Pour les ondes marchant dans le sens du courant, l'accord de la formule avec l'expérience est très-satisfaisant pour les ondes positives, et un peu moins pour les ondes négatives.

Dans un deuxième chapitre, M. Bazin étudie les lois de la propagation d'un remous dans une eau en repos. Dans le chapitre précédent, l'injection d'eau, à l'une des extrémités du canal, avait lieu dans un temps très-court; si, au contraire, l'injection est permanente, l'onde s'allonge indéfiniment et prend l'aspect d'une couche liquide qui s'avancerait progressivement sur la surface de l'eau en repos. Les expériences ont lieu dans les mêmes canaux qui ont servi à l'étude des mouvements de l'onde solitaire et dans les mêmes conditions de profondeur variable.

Voici les circonstances principales du phénomène. En tête du remous se produit une vague dont la hauteur est supérieure de moitié environ à celle du plan d'eau qui la suit; en avant de la première onde on n'ob-

serve aucun signe précurseur de son arrivée; en arrière, l'eau est animée d'une certaine vitesse dans le sens du mouvement de propagation.

Lorsque la profondeur est considérable, la première onde a une forme régulière et allongée; si la profondeur vient à diminuer, elle devient plus courte, plus aiguë au sommet, s'incline en avant, et offre une tendance au déferlement, qui se produit enfin lorsque la profondeur cesse de dépasser la hauteur de la vague. La vitesse de propagation est encore donnée par la formule

$$\sqrt{g(H+h)}$$

h étant la hauteur au-dessus du plan d'eau primitif de la vague qui marche en tête du remous; néanmoins, quand le déferlement a lieu, la formule donne des vitesses trop faibles.

On peut se rendre compte du déferlement de la manière suivante : à mesure que la profondeur diminue, la vitesse de propagation diminue elle-même; elle finit par devenir insuffisante pour que, le débit restant constant, la masse d'eau affluente trouve place derrière elle; l'onde surélevée qui marche en tête du remous se déforme, sa base s'amoindrit, sa crête devient plus aiguë et s'élève : or nous avons vu qu'une onde ne peut se maintenir qu'autant que sa hauteur est inférieure à la profondeur de l'eau dans laquelle elle se propage; elle se brise donc enfin, et se résout en une barre d'écume poussée en avant par la masse d'eau qui la suit.

M. Bazin montre ensuite que ce phénomène devient imminent lorsque la vitesse U du courant, capable de fournir le débit q sur l'unité de largeur et sur la profondeur H du canal, dépasse la vitesse d'un corps pesant tombant d'une hauteur égale à cette profondeur.

Il reste à déterminer la vitesse de propagation V que prend le remous pour un débit q, dans un canal renfermant de l'eau stagnante d'une profondeur H. Cette vitesse étant

$$V=\sqrt{g(H+h)}$$

il s'agit d'exprimer h, hauteur de la vague qui marche en tête du remous, en fonction du débit : il arrive à l'équation du troisième degré

$$V^3-gHv=\frac{3gq}{2}$$

en prenant $\frac{3}{2}$ pour le rapport entre la hauteur de la première vague et

la hauteur du plan d'eau qui la suit, que lui donne l'expérience avec une exactitude suffisante.

Il montre enfin par des calculs numériques que lorsque $\frac{q}{H\sqrt{gH}}$ est inférieur à 0,70, l'équation du troisième degré peut être remplacée par la formule très-simple

$$V = \sqrt{gH} + \frac{3}{5}U$$

Dans le chapitre III, M. Bazin traite le cas du remous qui se produit dans un canal dont on arrête l'écoulement par l'abaissement subit d'une vanne. L'eau s'élève contre l'obstacle, perd sa vitesse de translation et forme obstacle au mouvement de l'eau affluente, qui s'élève à son tour, et ainsi de suite. L'intumescence produite par l'eau devenue stagnante se propage vers l'amont avec une vitesse uniforme, en conservant son niveau. M. Bazin, après avoir décrit les expériences de Bidone sur ce sujet, développe les résultats des expériences faites par M. Darcy et par lui sur une beaucoup plus grande échelle. Il remarque que le remous, en s'avançant vers l'amont, présente une onde à surface arrondie, dont la hauteur dépasse le plan d'eau qui s'établit en arrière, lorsque l'agitation qui succède à cette première onde s'est calmée.

Il constate d'abord que la formule de M. Scott Russell se vérifie encore dans ce cas, en prenant pour hauteur h celle de l'onde plus élevée qui précède les autres à la naissance du remous. Mais pour arriver à la valeur numérique de la formule

$$\sqrt{g(H+h)} - U;$$

il faut connaitre h; or h est dans un rapport que donne l'expérience avec l'élévation du plan d'eau stagnante qui s'établit après le passage du remous et qui elle-même dépend de la vitesse U du courant. On arrive ainsi, pour la détermination de la vitesse de propagation, à une équation du troisième degré, dont la racine réelle est donnée approximativement par la formule très-simple

$$V = -\frac{2}{5}U + \sqrt{gH}$$

Il est à remarquer que cette valeur de V peut se déduire de la formule du chapitre précédent en retranchant U du second membre, ce qui indique que les phénomènes étudiés dans ces deux chapitres sont régis

par la même loi, et peuvent être ramenés l'un à l'autre, en imprimant un mouvement relatif à l'observateur.

M. Bazin aborde ensuite un cas plus compliqué, celui où le courant dont on interrompt le cours a lieu sur un fond légèrement incliné; le fait principal qu'il observe est que dans ce cas la surface de l'eau, après le passage du remous, n'est pas parfaitement horizontale, mais affecte une courbure tournant sa concavité vers le haut.

Le quatrième chapitre traite le cas où, dans un courant établi, on en projette un second; c'est le cas d'un fleuve dans lequel remonte la marée, ou qui se gonfle par suite de l'accroissement subit du débit d'un affluent. M. Darcy en a fait, en 1857, l'objet de plusieurs séries d'expériences, complétées en 1859 par M. Bazin. La prise d'eau supérieure entretient dans la rigole un courant déterminé, réglé par un barrage situé à 450 mètres en aval. Une deuxième prise d'eau voisine de ce dernier verse dans le premier courant un second dont on règle le débit à volonté et que nous nommons le *courant d'aval*, par opposition au premier, que nous nommons le *courant d'amont*. Soit Q le débit de celui-ci, Q′ le débit de celui-là. Si Q′ est très-petit par rapport à Q, le courant d'aval sera emporté par le courant d'amont, il ne s'en formera pas moins un remous se propageant vers l'amont, mais formé par les eaux mêmes du courant d'amont; une partie q du débit Q sera employée à produire ce remous. Si q s'accroît successivement jusqu'à devenir Q, le courant d'amont est complétement arrêté, l'eau devient stagnante dans toute la partie parcourue par le remous, et les eaux seules du courant d'aval s'écoulent par-dessus le déversoir. Si Q′ continue de s'accroître, une portion q' de ce débit remontera vers l'amont, le surplus $Q' - q'$ s'écoulera seul par le déversoir.

Les nombreux tableaux du chapitre IV reproduisent tous les détails des phénomènes compliqués qui se produisent dans ces conditions pour des débits différents du courant d'amont ou du courant d'aval et pour différentes profondeurs du canal.

On constate d'abord que, sauf le cas où l'onde déferle ou remonte le courant avec une vitesse très-faible, les formules établies plus haut se vérifient d'une manière satisfaisante. Elles contiennent, comme on sait, la hauteur h de l'onde qui marche en tête du remous. Dans le cas où l'on aurait à prévoir la vitesse de propagation que produirait un courant secondaire venant à l'encontre du courant principal, il faut expri-

mer h en fonction du débit q de cet affluent. La solution est donnée par une équation du troisième degré, dont la racine applicable à la question est exprimée avec une approximation suffisante par la formule

$$V = \sqrt{gH} + \frac{3}{5}U' - U$$

U étant la vitesse du courant principal et U′ la vitesse qui, pour une profondeur H, débiterait le volume q.

On sait que l'onde commence à déferler lorsque sa hauteur s'approche d'être égale à la profondeur du canal. M. Bazin en déduit que ce phénomène devient imminent lorsque $U + U'$ dépasse $\sqrt{2gH}$.

Un dernier chapitre est consacré à l'étude du mascaret. Ce phénomène, déjà si remarquable dans la Gironde et dans la Seine, atteint, comme on sait, les proportions les plus imposantes à l'embouchure du Gange et du fleuve des Amazones. M. Bazin en décrit les circonstances principales, et rappelle les explications proposées par différents auteurs; il adopte sur ce point l'opinion de Brémontier, développée depuis par notre ingénieux confrère M. Babinet, et à laquelle tous les hydrauliciens paraissent aujourd'hui ralliés. Mais M. Bazin va plus loin, les lois qu'il a établies sur la propagation des remous lui permettent d'analyser tous les détails du phénomène et de donner des chiffres qui en précisent les circonstances. Il prend pour exemple un fleuve formant, à partir de la mer, un canal régulier de 2 mètres de profondeur; les eaux s'écoulent avec une vitesse de 1 mètre dans la mer au moment de la marée, qui s'élève de $2^m,40$ par heure, soit de $0^m,20$ par chaque intervalle de cinq minutes. Il suppose seulement que cet exhaussement, au lieu d'être continu, se fait brusquement par tranche de $0^m,20$. La première va donner lieu à une onde qui se propagera avec la vitesse

$$\sqrt{g \times 2,2} - 1 = 3^m,64$$

L'eau du fleuve s'écoulant sur une section accrue de $0^m,20$, la vitesse se réduit, et le débit primitif de 2 mètres par seconde, diminué du débit nouveau qui a lieu sous l'influence de cette vitesse réduite, doit être égal précisément à l'accroissement du volume du remous qui est égal à sa vitesse $3^m,64$ multipliée par la hauteur du remous $0^m,20$. On trouve ainsi que la vitesse de 1 mètre se réduit à $0^m,58$. A l'arrivée d'une seconde tranche de $0^m,20$ elle ne sera plus que de 0^m17, mais la vitesse de propagation de la nouvelle onde s'élèvera à $4^m,27$, à cause de la pro-

fondeur accrue et de la diminution de la vitesse du courant. Après un nouvel intervalle de cinq minutes, une nouvelle onde remonte avec une vitesse de $4^m,88$. L'eau du fleuve à sa suite a entièrement perdu sa vitesse primitive ; elle commence à remonter vers l'amont, et l'élévation progressive du niveau commence à se faire aux dépens des eaux affluant de la mer. On voit comment les ondes qui se succèdent vont en s'accélérant : les premières seront donc successivement atteintes par celles qui les suivent ; la rencontre des deux premières aura lieu à 7,400 mètres de l'embouchure ; leur hauteur sera de $0^m,40$ et leur vitesse

$$\sqrt{g \times 2,40} - 1 = 3^m,85$$

mais à ce moment la troisième onde ne sera qu'à 400 mètres en arrière, elle rejoindra en quelques minutes la tête du flot dont la hauteur s'élèvera à $0^m,60$ et la vitesse à

$$\sqrt{g \times 2,60} - 1 = 4^m,05$$

On voit comment l'arrivée successive de petites ondes élémentaires produit, au bout d'un certain temps, une onde unique résultant de leur réunion, qui peut s'élever à une hauteur considérable. Tant qu'elle se propage dans une profondeur suffisante, elle conserve sa figure allongée et ne déferle pas ; mais si elle rencontre un haut fond et que sa hauteur s'approche d'égaler la profondeur du chenal, elle s'écroule en une masse écumeuse et donne alors naissance au mascaret proprement dit.

La nature ne présente jamais la régularité des données sur lesquelles nous venons de raisonner ; cependant elle s'en rapproche quelquefois assez pour qu'on puisse trouver dans les faits naturels un contrôle suffisant de la théorie : c'est ce à quoi parvient M. Bazin, à l'aide d'expériences sur le mascaret de la Seine, extraites d'un travail fait en 1826 par M. Poirée, et en 1856 par M. Partiot. L'état des eaux du fleuve était à peu près le même à ces deux époques, mais les travaux d'endiguement exécutés dans cet intervalle ayant accru de plusieurs mètres la profondeur du chenal, M. Bazin constate que la vitesse du flot V s'est accrue dans les proportions qu'indique la formule

$$V = \sqrt{g(H + h)} - U$$

On voit que la vitesse du flot, qui augmente avec la profondeur du chenal, diminue quand la vitesse du courant descendant augmente. Si

le volume engendré par l'onde est inférieur au débit du fleuve, l'eau, après le passage de l'onde, se porte encore vers l'aval; s'il lui est supérieur, le courant change immédiatement de direction. Le déferlement a lieu lorsque la vitesse du fleuve, plus la vitesse due au débit de la marée sous la profondeur H, est supérieure à $\sqrt{2gH}$.

Nous terminons là le résumé du Mémoire de M. Bazin sur les remous et la propagation des ondes. Dans toute l'étendue de ce travail remarquable, monument de sagacité et de persévérance, l'auteur ne s'écarte pas des règles du raisonnement le plus rigoureux et de la plus sévère critique. Il sera consulté avec fruit par les savants qui chercheront à approfondir la théorie encore si obscure du mouvement ondulatoire des liquides pesants, et par les ingénieurs qui auront à s'occuper de l'amélioration de la navigation dans la partie maritime des fleuves à marée.

Vos Commissaires, à l'occasion de cette seconde partie du Mémoire de M. Bazin, ne peuvent donc que réitérer le vœu dont M. le général Morin s'est rendu l'organe à l'occasion de la première, d'accorder l'approbation de l'Académie au travail de M. Bazin sur l'hydraulique, d'en ordonner l'impression dans le *Recueil des Mémoires des Savants étrangers*, ainsi que l'envoi de ce Rapport à M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics.

Les conclusions de ce rapport sont adoptées.

AVANT-PROPOS.

L'étendue de ce travail, qui ne devait être qu'un simple appendice des *Recherches sur l'écoulement dans les canaux*, a de beaucoup dépassé mes prévisions. Les premières expériences de M. Darcy avaient eu pour but de reproduire en petit le mouvement de la marée dans les fleuves : leurs résultats présentaient une extrême complication, et lorsque je fus appelé à terminer seul l'œuvre entreprise par M. Darcy, j'éprouvai d'abord un grand embarras en présence de ces phénomènes si variés. Espérant en trouver la clef dans la loi très-simple suivant laquelle s'opère la propagation d'une onde isolée, je répétai sur une plus grande échelle les expériences faites à ce sujet par J. Russell en 1843. Mais pour établir un lien entre le mouvement si bien défini d'une onde unique dans une eau stagnante et les phénomènes si complexes qui accompagnent la marche de la marée dans un fleuve, il fallait en outre étudier plusieurs cas inter-

médiaires, afin de dégager un à un les divers éléments de la question. L'ensemble du travail se compose donc d'une série d'études partielles, formant autant de chapitres distincts : le chapitre I sera consacré aux expériences sur la marche d'une onde de longueur limitée; les chapitres II, III et IV traiteront des divers cas de la propagation d'un remous indéfini; enfin le chapitre V renferme quelques considérations sur la propagation des marées et sur le mascaret.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, tome LVII, Séance du 10 août 1863.

RAPPORT

Sur la partie du Mémoire de M. Bazin, *relative aux Remous et à la Propagation des Ondes.*

Commissaires, MM. Dupin, Poncelet, Combes, Morin, Clapeyron, rapporteur.

M. Bazin, dans une seconde partie de ses recherches expérimentales sur l'hydraulique, aborde la question si difficile et encore si peu approfondie des mouvements ondulatoires qui se produisent dans les liquides.

Dans un sujet si vaste et renfermant des questions d'un ordre si élevé, M. Bazin a dû restreindre son point de vue; ses études ont porté seulement sur un cas relativement simple, celui d'ondes isolées se propageant dans des canaux rectilignes dont l'eau est stagnante ou s'écoule avec une vitesse uniforme, soit dans le sens où la vague se propage, soit dans le sens opposé.

Dans les deux premiers cas, l'onde a des dimensions restreintes en longueur; elle est produite par l'injection subite et de courte durée d'une masse d'eau dans le canal.

Si, au contraire, l'injection dure un temps considérable, la vague prendra en longueur des dimensions beaucoup plus grandes, qui seront en proportion de la durée de l'injection; l'intumescence ainsi produite prend

le nom de *remous*, elle a l'apparence d'une tranche d'eau qui s'avancerait en glissant sur la surface du canal.

Comme dans le cas de la vague isolée, M. Bazin examine le cas où le phénomène se produit dans un canal renfermant de l'eau en repos, et celui où celle-ci s'écoule avec une vitesse uniforme dans le sens où se propage le remous, ou en sens contraire. Ce dernier cas fixe particulièrement l'attention de l'auteur, parce qu'il reproduit sur une échelle restreinte le phénomène imposant connu dans la partie maritime des grands fleuves sous différents noms : barre, mascaret, pororoca, et en fournit l'explication naturelle.

Cette partie de l'hydraulique avait été déjà abordée par quelques expérimentateurs, parmi lesquels il convient de citer en première ligne MM. Scott Russell et Bidone. Le premier a publié en 1845 des expériences très-intéressantes sur la propagation dans un canal rectiligne d'une onde isolée produite par l'injection subite d'une petite masse d'eau dans le liquide stagnant qui le remplit. Cette onde, qu'il nomme *onde de translation*, *onde solitaire*, jouit de propriétés remarquables; la saillie qu'elle produit à la surface de l'eau est d'une régularité parfaite ; elle marche sans laisser en arrière de traces de son passage et sans que rien annonce en avant sa venue prochaine. Elle parcourt ainsi de grands espaces sans qu'on observe dans sa forme d'altération sensible quand la profondeur reste constante. Sa vitesse est celle qu'acquerrait un corps grave tombant d'une hauteur égale à la moitié de la distance du sommet de la vague au fond du canal.

Cette onde paraît devoir les propriétés particulières qui la caractérisent à ce que le mouvement qui la produit s'étend aux parties les plus profondes du canal; lorsque l'agitation est seulement superficielle, la loi de propagation est tout autre ; ainsi, comme l'a remarqué le général Morin, lorsqu'un canot se meut dans un canal étroit et profond, il produit dans certaines conditions de vitesse une vague qui l'accompagne; si l'on vient à arrêter celui-ci, la vague quitte le canot et se propage en avant, d'abord avec sa vitesse originelle, qui est celle qu'avait le canot, et par conséquent sans relation avec la profondeur du canal. Ce n'est que plus tard, et lorsque l'agitation superficielle se sera étendue à toute la profondeur de l'eau, que la loi proposée par M. Scott Russell pourra se manifester.

Bidone publia, en 1824, des expériences sur le remous qui se produit dans un canal à faible pente, rempli d'une eau courante, lorsqu'on l'arrête subitement par l'abaissement d'une vanne: l'eau s'élève contre cet obstacle et perd sa vitesse. Ainsi réduite à l'état de repos, elle devient à son tour un

obstacle au mouvement de l'eau qui vient ensuite, et dont la vitesse subsiste encore; celle-ci s'élève à son tour en perdant sa vitesse; l'intumescence ainsi produite a une hauteur constante au-dessus du fond et se propage dans le sens opposé au courant, avec une vitesse uniforme lorsque la profondeur du courant l'est elle-même. Bidone étudie les circonstances diverses du phénomène et en représente la loi par une formule qui coïncide avec celle de M. Scott Russell lorsque la hauteur de l'intumescence est très-faible.

Les expériences de ces deux auteurs ont été faites dans des canaux de petites dimensions qui s'éloignaient trop des conditions de la pratique pour qu'elles pussent lui offrir un guide certain.

Cette question du mouvement des vagues ne pouvait manquer d'appeler l'attention des géomètres, qui en ont fait l'objet de recherches suivies; malheureusement les forces de l'analyse moderne n'ont pas prévalu contre les difficultés de la question. Il convient cependant de rappeler ce qu'on lit à ce sujet dans la *Mécanique analytique* de Lagrange. Il se restreint au cas où le canal est peu profond et horizontal. Il suppose que le fluide, dans son mouvement, ne s'élève ni ne s'abaisse au-dessus ou au-dessous du niveau qu'infiniment peu, et qu'en outre les vitesses horizontales sont aussi très-petites. « Alors, dit-il, la vitesse de propagation des ondes sera la » même que celle qu'un corps grave acquerrait en descendant d'une hau- » teur égale à la moitié de la profondeur d'eau dans le canal. » Si restreintes que soient les hypothèses dans lesquelles se place Lagrange, il convient donc de faire remonter à lui la découverte de la loi que Scott Russell a eu le mérite de vérifier dans des conditions de grandeur finie, quoique encore bien restreintes.

Cette revue sommaire des travaux antérieurs montre combien les expériences de M. Bazin offraient d'importance et d'opportunité. Pouvant disposer des rigoles d'alimentation et des biefs du canal de Bourgogne, il les a faites sur une échelle supérieure à ce qu'avaient pu faire ses prédécesseurs, et qui se rapproche des conditions ordinaires de la pratique. Son canal d'expérience a 2 mètres de largeur, les parois sont formées de madriers jointifs, la section est rectangulaire. Le fond est réglé sur une pente de 1 $\frac{1}{2}$ millimètre par mètre environ. Il opère sur des hauteurs d'eau variant entre $0^m,682$ et $0^m,307$ à l'extrémité la plus profonde, et qui, en raison de l'inclinaison du fond, se réduisent à $0^m,441$ et $0^m,066$ à l'extrémité opposée. L'onde dont on étudie la marche se produit de la manière suivante. A une certaine distance du point où commencent les

observations est une prise d'eau en communication avec le canal ; on y a établi un barrage percé de plusieurs ouvertures munies de clapets disposés de façon à pouvoir s'ouvrir et se fermer subitement. L'eau retenue à un niveau supérieur peut être injectée à volonté dans le canal et y produire l'intumescence dont on étudie le mouvement. L'agitation tumultueuse qui s'observe d'abord dans le voisinage de la prise d'eau se régularise bientôt et se résout en une vague aux formes régulières qui se propage avec une vitesse qui varie avec les divers points d'observation. A mesure que la profondeur diminue, la hauteur de la vague s'accroît, et si l'on nomme H la profondeur de l'eau avant l'arrivée de la vague au point que l'on considère, et h la hauteur de la vague au-dessus du niveau général, la vitesse de propagation est donnée par la formule

$$\sqrt{g\,(\mathrm{H}+h)}.$$

C'est la loi de M. Scott Russell.

On conçoit que cette hauteur croissante de la vague a une limite ; il arrive un moment où elle se brise et s'écroule dans un tourbillon d'écume. Ce phénomène se produit lorsque la hauteur s'approche d'être égale à la profondeur du canal. Après que la vague a déferlé, ses débris donnent naissance à une série de vagues plus petites, qui se brisent à leur tour lorsque la profondeur vient à leur manquer.

Si, au lieu d'injecter l'eau dans le canal, on en retire subitement une certaine quantité en lui ouvrant, pendant un temps très-court, une issue à travers le barrage placé à l'une de ses extrémités, il se produit une dépression qui se propage sur toute sa longueur ; on remarque que cette espèce de vague négative n'a pas des formes aussi nettes et aussi régulières que l'onde saillante étudiée précédemment. L'onde négative est suivie d'autres ondulations qu'il n'a pas été possible de faire disparaître, comme l'avait aussi constaté M. Scott Russell ; elle ne paraît pas non plus pouvoir parcourir d'aussi grands espaces sans déformation sensible. La détermination des circonstances diverses du phénomène n'est pas susceptible d'autant de précision ; cependant la vitesse de propagation calculée par la formule

$$\sqrt{g\,(\mathrm{H}-h)}$$

s'accorde fort bien avec l'expérience ; la même loi s'appliquerait donc à la vitesse de propagation de l'onde positive et de l'onde négative, puisqu'il suffit, pour passer de la première à la seconde, de changer h en $-h$.

Les mêmes expériences ont été répétées en deux points du canal de Bourgogne sur une plus grande échelle : d'abord, dans le bief de partage. La cuvette du canal est en maçonnerie; sa section est un rectangle de $6^m,50$ de largeur; sa profondeur d'eau de $2^m,40$. Les ondes positives étaient produites par l'introduction subite d'un volume d'eau accumulé dans une rigole d'alimentation; les ondes négatives, en ouvrant pendant un instant les vannes de la première écluse du versant de l'Yonne. La même loi se vérifia.

Une seconde série d'expériences eut lieu dans un des biefs du canal de Bourgogne, versant de la Saône. La section du canal était sensiblement un trapèze de 10 mètres de largeur au plafond, avec talus inclinés, à 2 mètres de base sur 1 mètre de hauteur. On a pris pour hauteur H la profondeur moyenne obtenue en divisant la section par la largeur à la ligne d'eau; cette profondeur variait de $1^m,37$ à $1^m,44$. Les ondes positives étaient obtenues en ouvrant les vannes de l'écluse d'amont pendant quelques instants, et les ondes négatives en ouvrant celles de l'écluse d'aval. Les vitesses déduites de la formule s'accordent avec celles de l'expérience, à l'exception toutefois de celles qui se rapportent à la propagation des ondes négatives dans la section à forme trapézoïdale; dans ce dernier cas, la formule donne des vitesses inférieures à celles qu'indique l'expérience. La section du canal paraît donc avoir dans ce cas, sur la vitesse de propagation, une influence encore peu connue, et qui ferait désirer des expériences sur une plus grande échelle.

Il était encore intéressant de savoir si la même loi s'applique à la propagation de la vague dans un courant marchant dans le même sens ou dans un sens opposé. Si toutes les molécules d'un courant, comprises dans une même section, étaient animées d'une même vitesse, il n'est pas douteux que, par rapport à un observateur animé de la vitesse du courant, l'eau serait en repos, et que la vitesse relative de la propagation de l'onde serait celle qui vient d'être déterminée, ou, ce qui revient au même, la vitesse absolue mesurée par rapport aux berges du canal serait $\sqrt{g(H+h)} \pm u$, u étant la vitesse du cours d'eau. Le signe $+$ se rapporterait au cas où l'onde se propagerait dans le sens du courant, le signe $-$ au cas où elle marcherait dans le sens opposé. Mais il n'en est pas ainsi, et l'inégalité de vitesse, en différents points de la section du cours d'eau, peut altérer d'une manière très-sensible la loi établie pour un liquide en repos. Il était donc intéressant de consulter l'expérience sur ce point.

M. Bazin constate que, lorsqu'une onde positive remonte un courant, elle perd sa régularité de forme, et sa hauteur diminue plus rapidement que dans le cas où l'eau est stagnante : ce phénomène est d'autant plus prononcé, que le courant est plus rapide; cependant la formule $\sqrt{g(H+h)}-u$ se vérifie encore d'une manière satisfaisante; mais pour de faibles vitesses de propagation, le calcul donne des valeurs un peu trop grandes; il les donne un peu trop faibles dans le cas des ondes négatives.

Pour les ondes marchant dans le sens du courant, l'accord de la formule avec l'expérience est très-satisfaisant pour les ondes positives, et un peu moins pour les ondes négatives.

Dans un deuxième chapitre, M. Bazin étudie les lois de la propagation d'un remous dans une eau en repos. Dans le chapitre précédent, l'injection d'eau, à l'une des extrémités du canal, avait lieu dans un temps très-court; si au contraire l'injection est permanente, l'onde s'allonge indéfiniment et prend l'aspect d'une couche liquide qui s'avancerait progressivement sur la surface de l'eau en repos. Les expériences ont lieu dans les mêmes canaux qui ont servi à l'étude des mouvements de l'onde solitaire et dans les mêmes conditions de profondeur variable.

Voici les circonstances principales du phénomène. En tête du remous se produit une vague dont la hauteur est supérieure de moitié environ à celle du plan d'eau qui la suit; en avant de la première onde, on n'observe aucun signe précurseur de son arrivée; en arrière, l'eau est animée d'une certaine vitesse dans le sens du mouvement de propagation. Lorsque la profondeur est considérable, la première onde a une forme régulière et allongée; si la profondeur vient à diminuer, elle devient plus courte, plus aiguë au sommet, s'incline en avant et offre une tendance au déferlement qui se produit enfin lorsque la profondeur cesse de dépasser la hauteur de la vague. La vitesse de propagation est encore donnée par la formule $\sqrt{g(H+h)}$, h étant la hauteur au-dessus du plan d'eau primitif de la vague qui marche en tête du remous; néanmoins, quand le déferlement a lieu, la formule donne des vitesses trop faibles.

On peut se rendre compte du déferlement de la manière suivante : à mesure que la profondeur diminue, la vitesse de propagation diminue elle-même; elle finit par devenir insuffisante pour que, le débit restant constant, la masse d'eau affluente trouve place derrière elle; l'onde surélevée qui marche en tête du remous se déforme, sa base s'amoindrit, sa crête devient plus aiguë et s'élève : or, nous avons vu qu'une onde ne peut se

maintenir qu'autant que sa hauteur est inférieure à la profondeur de l'eau dans laquelle elle se propage; elle se brise donc enfin et se résout dans une barre d'écume poussée en avant par la masse d'eau qui la suit.

M. Bazin montre ensuite que ce phénomène devient imminent lorsque la vitesse U du courant, capable de fournir le débit q sur l'unité de largeur et sur la profondeur H du canal, dépasse la vitesse d'un corps pesant tombant d'une hauteur égale à cette profondeur.

Il reste à déterminer la vitesse de propagation V que prend le remous pour un débit q, dans un canal renfermant de l'eau stagnante d'une profondeur H. Cette vitesse V étant $\sqrt{g(H+h)}$, il s'agit d'exprimer h, hauteur de la vague qui marche en tête du remous, en fonction du débit : il arrive à l'équation du troisième degré $V^3 - gHv = \frac{3gq}{2}$, en prenant $\frac{3}{2}$ pour le rapport entre la hauteur de la première vague et la hauteur du plan d'eau qui la suit, que lui donne l'expérience avec une exactitude suffisante.

Il montre enfin par des calculs numériques que lorsque $\frac{q}{H\sqrt{gH}}$ est inférieur à 0,70, l'équation du troisième degré peut être remplacée par la formule très-simple

$$V = \sqrt{gH} + \frac{3}{5}U.$$

Dans le chapitre III, M. Bazin traite le cas du remous qui se produit dans un canal dont on arrête l'écoulement par l'abaissement subit d'une vanne. L'eau s'élève contre l'obstacle, perd sa vitesse de translation et forme obstacle au mouvement de l'eau affluente qui s'élève à son tour, et ainsi de suite. L'intumescence produite par l'eau devenue stagnante se propage vers l'amont avec une vitesse uniforme, en conservant son niveau. M. Bazin, après avoir décrit les expérience de Bidone sur ce sujet, développe les résultats des expériences faites par M. Darcy et par lui sur une beaucoup plus grande échelle. Il remarque que le remous, en s'avançant vers l'amont, présente une onde à surface arrondie dont la hauteur dépasse le plan d'eau qui s'établit en arrière, lorsque l'agitation qui succède à cette première onde s'est calmée.

Il constate d'abord que la formule de M. Scott Russell se vérifie encore dans ce cas, en prenant pour hauteur h celle de l'onde plus élevée qui précède les autres à la naissance du remous. Mais pour arriver à la valeur numérique de la formule $\sqrt{g(H+h)} - U$, il faut connaître h. Or h est dans

un rapport que donne l'expérience avec l'élévation du plan d'eau stagnante qui s'établit après le passage du remous et qui elle-même dépend de la vitesse U du courant. On arrive ainsi, pour la détermination de la vitesse de propagation, à une équation du troisième degré, dont la racine réelle est donnée approximativement par la formule très-simple

$$V = -\frac{2}{5}U + \sqrt{gH}.$$

Il est à remarquer que cette valeur de V peut se déduire de la formule du chapitre précédent en retranchant U du second membre, ce qui indique que les phénomènes étudiés dans ces deux chapitres sont régis par la même loi, et peuvent être ramenés l'un à l'autre, en imprimant un mouvement relatif à l'observateur.

M. Bazin aborde ensuite un cas plus compliqué, celui où le courant dont on interrompt le cours a lieu sur un fond légèrement incliné : le fait principal qu'il observe est que dans ce cas la surface de l'eau, après le passage du remous, n'est pas parfaitement horizontale, mais affecte une courbure tournant sa concavité vers le haut.

Le quatrième chapitre traite le cas où, dans un courant établi, on en projette un second ; c'est le cas d'un fleuve dans lequel remonte la marée ou qui se gonfle par suite de l'accroissement subit du débit d'un affluent. M. Darcy en a fait, en 1856, l'objet de plusieurs séries d'expérience complétées en 1857 par M. Bazin. La prise d'eau supérieure entretient dans la rigole un courant déterminé, réglé par un barrage situé à 450 mètres en aval. Une deuxième prise d'eau voisine de ce dernier verse dans le premier courant un second dont on règle le débit à volonté et que nous nommons le *courant d'aval*, par opposition au premier que nous nommons le *courant d'amont*. Soit Q le débit de celui-ci, Q′ le débit de celui-là. Si Q′ est très-petit par rapport à Q, le courant d'aval sera emporté par le courant d'amont, il ne s'en formera pas moins un remous se propageant vers l'amont, mais formé par les eaux mêmes du courant d'amont ; une partie q du débit Q sera employée à produire ce remous. Si q s'accroît successivement jusqu'à devenir Q, le courant d'amont est complétement arrêté, l'eau devient stagnante dans toute la partie parcourue par le remous, et les eaux seules du courant d'aval s'écoulent par-dessus le déversoir. Si Q′ continue de s'accroître, une portion q' de ce débit remontera vers l'amont, le surplus $Q' - q'$ s'écoulera seul par le déversoir.

Les nombreux tableaux du chapitre IV reproduisent tous les détails

des phénomènes compliqués qui se produisent dans ces conditions pour des débits différents du courant d'amont ou du courant d'aval et pour différentes profondeurs du canal.

On constate d'abord que, sauf le cas où l'onde déferle ou remonte le courant avec une vitesse très-faible, les formules établies plus haut se vérifient d'une manière satisfaisante. Elles contiennent, comme on sait, la hauteur h de l'onde qui marche en tête du remous. Dans le cas où l'on aurait à prévoir la vitesse de propagation que produirait un courant secondaire venant à l'encontre du courant principal, il faut exprimer h en fonction du débit q de cet affluent. La solution est donnée par une équation du troisième degré, dont la racine applicable à la question est exprimée avec une approximation suffisante par la formule $V = \sqrt{gH} + \frac{3}{5}U' - U$, U étant la vitesse du courant principal et U′ la vitesse qui, pour une profondeur H, débiterait le volume q.

On sait que l'onde commence à déferler lorsque sa hauteur s'approche d'être égale à la profondeur du canal. M. Bazin en déduit que ce phénomène devient imminent lorsque $U + U'$ dépasse $\sqrt{2gH}$.

Un dernier chapitre est consacré à l'étude du mascaret. Ce phénomène, déjà si remarquable dans la Gironde et dans la Seine, atteint, comme on sait, les proportions les plus imposantes à l'embouchure du Gange et du fleuve des Amazones. M. Bazin en décrit les circonstances principales, et rappelle les explications proposées par différents auteurs; il adopte sur ce point l'opinion de Brémontier, développée depuis par notre ingénieux confrère M. Babinet, et à laquelle tous les hydrauliciens paraissent aujourd'hui ralliés. Mais M. Bazin va plus loin, les lois qu'il a établies sur la propagation des remous lui permettent d'analyser tous les détails du phénomène et de donner des chiffres qui en précisent les circonstances. Il prend pour exemple un fleuve formant, à partir de la mer, un canal régulier de 2 mètres de profondeur; les eaux s'écoulent avec une vitesse de 1 mètre dans la mer au moment de la marée, qui s'élève de $2^m,40$ par heure, soit de $0^m,20$ par chaque intervalle de cinq minutes. Il suppose seulement que cet exhaussement, au lieu d'être continu, se fait brusquement par tranche de $0^m,20$. La première va donner lieu à une onde qui se propagera avec la vitesse

$$\sqrt{g \cdot 2,2} - 1 = 3^m,64.$$

L'eau du fleuve s'écoulant sur une section accrue de $0^m,20$, la vitesse se réduit, et le débit primitif de 2 mètres par seconde, diminué du débit

nouveau qui a lieu sous l'influence de cette vitesse réduite, doit être égal précisément à l'accroissement du volume du remous qui est égal à sa vitesse $3^m,64$ multipliée par la hauteur du remous $0^m,20$. On trouve ainsi que la vitesse de 1 mètre se réduit à $0^m,58$. A l'arrivée d'une seconde tranche de $0^m,20$ elle ne sera plus que de $0^m,17$, mais la vitesse de propagation de la nouvelle onde s'élèvera à $4^m,27$, à cause de la profondeur accrue et de la diminution de la vitesse du courant. Après un nouvel intervalle de cinq minutes, une nouvelle onde remonte avec une vitesse de $4^m,88$. L'eau du fleuve à sa suite a entièrement perdu sa vitesse primitive; elle commence à remonter vers l'amont, et l'élévation progressive du niveau commence à se faire aux dépens des eaux affluant de la mer. On voit comment les ondes qui se succèdent vont en s'accélérant : les premières seront donc successivement atteintes par celles qui les suivent; la rencontre des deux premières aura lieu à 7400 mètres de l'embouchure; leur hauteur sera de $0^m,40$ et leur vitesse $\sqrt{g \cdot 2,40} - 1 = 3^m,85$; mais à ce moment la troisième onde ne sera qu'à 400 mètres en arrière, elle rejoindra en quelques minutes la tête du flot dont la hauteur s'élèvera à $0^m,60$ et la vitesse à $\sqrt{g \cdot 2,60} - 1 = 4^m,05$.

On voit comment l'arrivée successive de petites ondes élémentaires produit, au bout d'un certain temps, une onde unique résultant de leur réunion, qui peut s'élever à une hauteur considérable. Tant qu'elle se propage dans une profondeur suffisante, elle conserve sa figure allongée et ne déferle pas; mais si elle rencontre un haut fond et que sa hauteur s'approche d'égaler la profondeur du chenal, elle s'écroule en une masse écumeuse et donne alors naissance au mascaret proprement dit.

La nature ne présente jamais la régularité des données sur lesquelles nous venons de raisonner; cependant elle s'en rapproche quelquefois assez pour qu'on puisse trouver dans les faits naturels un contrôle suffisant de la théorie : c'est ce à quoi parvient M. Bazin, à l'aide d'expériences sur le mascaret de la Seine, extraites d'un travail fait en 1826 par M. Poirée et en 1856 par M. Partiot. L'état des eaux du fleuve était à peu près le même à ces deux époques, mais les travaux d'endiguement exécutés dans cet intervalle ayant accru de plusieurs mètres la profondeur du chenal, M. Bazin constate que la vitesse du flot V s'est accrue dans les proportions qu'indique la formule $V = \sqrt{g(H+h)} - U$. On voit que la vitesse du flot, qui augmente avec la profondeur du chenal, diminue quand la vitesse du courant descendant augmente. Si le volume engendré par l'onde est inférieur au débit du fleuve, l'eau, après le passage de l'onde, se porte encore vers l'aval; s'il lui

est supérieur, le courant change immédiatement de direction. Le déferlement a lieu lorsque la vitesse du fleuve, plus la vitesse due au débit de la marée sous la profondeur H, est supérieure à $\sqrt{2gH}$.

Nous terminons là le résumé du Mémoire de M. Bazin sur les remous et la propagation des ondes. Dans toute l'étendue de ce travail remarquable, monument de sagacité et de persévérance, l'auteur ne s'écarte pas des règles du raisonnement le plus rigoureux et de la plus sévère critique. Il sera consulté avec fruit par les savants qui chercheront à approfondir la théorie encore si obscure du mouvement ondulatoire des liquides pesants, et par les ingénieurs qui auront à s'occuper de l'amélioration de la navigation dans la partie maritime des fleuves à marée.

Vos Commissaires, à l'occasion de cette seconde partie du Mémoire de M. Bazin, ne peuvent donc que réitérer le vœu dont le général Morin s'est rendu l'organe à l'occasion de la première, d'accorder l'approbation de l'Académie au travail de M. Bazin sur l'hydraulique, d'en ordonner l'impression dans le *Recueil des Mémoires des Savants étrangers*, ainsi que l'envoi de ce Rapport à M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics.

Les conclusions de ce Rapport sont adoptées.

ACADÉMIE DES SCIENCES.

Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, tome LVII, séances des 27 juillet et 3 août 1863.

RAPPORT

Sur un Mémoire présenté par M. Bazin, ingénieur des Ponts et Chaussées, *sur le Mouvement de l'eau dans les canaux découverts.*

Commissaires, MM. Dupin, Poncelet, Combes, Clapeyron, Morin, rapporteur.

Les ingénieurs qui s'occupent du mouvement de l'eau dans les canaux et les tuyaux de conduite ont depuis assez longtemps déjà reconnu que les formules déduites par Prony d'un nombre restreint d'expériences faites dans des circonstances peu comparables n'étaient applicables qu'à certains cas.

D'une part, leur forme assez compliquée en rend l'application un peu longue, malgré l'usage des tables calculées pour la faciliter, et de l'autre l'influence de la nature des parois dont ces formules font abstraction a été trop nettement constatée par les belles recherches de feu M. Darcy sur le mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite, pour qu'il ne fût pas devenu nécessaire d'entreprendre des études analogues pour reconnaître, s'il était possible, les lois de cette même influence sur le mouvement de l'eau dans les canaux.

Aussi, dès l'année 1854, dans un Rapport approuvé par l'Académie sur les premiers travaux de M. Darcy, relatifs aux tuyaux de conduite, avions-nous appelé l'intérêt de la Compagnie et la bienveillance du Gouvernement sur les recherches que ce savant ingénieur avait déjà entreprises et se proposait de poursuivre sur cette question.

Ni l'appui du Ministre des travaux publics, ni le concours d'ingénieurs habiles et dévoués à la science n'ont manqué à M. Darcy. Les ressources nécessaires avaient été mises à sa disposition; M. Baumgarten, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées, lui avait prêté l'aide d'une longue expérience acquise dans les travaux du Rhin; M. Ritter, alors ingénieur ordinaire attaché au service hydraulique de la Côte-d'Or, l'avait assisté de son dévouement. Mais M. Darcy n'avait pas mesuré l'étendue de la tâche qu'il s'était imposée aux forces qui lui restaient après de longs travaux. D'une autre part, M. Baumgarten et M. Ritter, appelés par les exigences du service à d'autres destinations, avaient été séparés de M. Darcy en 1856, au moment où, les préparatifs préliminaires étant achevés, les expériences allaient commencer.

Il était réservé à M. Bazin, que M. Darcy s'était adjoint dès cette époque, de le seconder d'abord, et plus tard après sa mort si regrettable, survenue en 1858, de réunir, de compléter et de discuter les résultats de tant de nombreuses et délicates expériences, et d'en déduire, pour l'art de l'ingénieur, les conséquences importantes auxquelles elles conduisent.

Le travail dont nous avons à rendre compte à l'Académie est donc l'œuvre de plusieurs ingénieurs. Il a été conçu, organisé, commencé par M. Darcy, poursuivi sous sa direction jusqu'à sa mort; mais l'exécution d'une très-grande partie des expériences, la discussion de leurs résultats, ainsi que les déductions scientifiques qui en découlent, et qui sont exposées dans le Mémoire de M. Bazin avec une remarquable lucidité, doivent être considérées comme appartenant en propre à cet ingénieur.

Le Mémoire que M. Bazin soumet au jugement de l'Académie est partagé en quatre sections principales, ayant pour objet :

1° Les expériences sur les canaux à régime uniforme;

2° Les expériences sur la distribution des vitesses dans les courants;

3° Les expériences sur le mouvement varié;

4° Les expériences sur le mouvement des ondes.

L'étendue considérable de ces recherches, qui sont contenues et discu-

tées dans quatre volumes manuscrits in-folio, accompagnés de quarante planches parfaitement exécutées par M. Chapuis, conducteur des Ponts et Chaussées, nous a obligés à en partager l'examen entre deux Membres de la Commission qui ont l'honneur de soumettre à l'Académie les Rapports partiels dont nous allons lui faire connaître le premier, principalement relatif au mouvement de l'eau dans les canaux à régime uniforme.

Du mouvement uniforme de l'eau dans les canaux.

Avant d'analyser la partie principale de ce long ensemble de recherches qui, commencé en 1855, n'a été terminé qu'en 1862, il est nécessaire de dire quelques mots des dispositions prises pour assurer l'exactitude des résultats observés et des conséquences qu'il est permis d'en déduire.

Dispositions générales.—Pour l'exécution des expériences, et afin de leur donner un caractère tout à fait pratique, comparable à celui des circonstances où l'on pourrait avoir à se servir des règles que l'on espérait en déduire, M. Darcy avait fait établir au bief n° 57 du canal de Bourgogne une rigole de $596^m,50$ de longueur, qui, après avoir suivi parallèlement ce canal sur 450 mètres, se détournait à gauche pour verser dans la rivière d'Ouche les eaux qu'elle avait empruntées au canal. Cette rigole, dont les parois étaient revêtues en planches de peuplier, convenablement maintenues par des cadres, avait dans œuvre 2 mètres de largeur sur $0^m,95$ de profondeur. Elle était enveloppée à l'extérieur par un corroi à très-peu près imperméable, et ses dimensions intérieures ont permis d'y installer de faux planchers pour opérer sur des pentes diverses et des profils variés, selon les formes que l'on se proposait d'étudier.

Prise d'eau.—L'eau que l'on voulait faire couler dans cette rigole était, à l'origine, simplement empruntée au canal à 157 mètres en aval de l'écluse n° 56, au moyen d'un vannage à quatre ouvertures de 1 mètre de largeur, pouvant avoir $0^m,40$ de hauteur; mais l'observation ne tarda pas à montrer que, pour obtenir un écoulement régulier et normal de l'eau dans la rigole, il était nécessaire d'établir, entre le vannage et cette rigole, un bassin ou un bief de distribution particulier, terminé par un barrage muni d'orifices plus petits et plus nombreux.

C'est ce qui conduisit M. Darcy à faire construire un deuxième barrage percé de douze orifices de $0^m,20$ sur $0^m,20$, avec encadrements et ventelles en cuivre, se rapprochant autant que possible des formes et des proportions

des orifices à contraction complète, si bien étudiés par MM. Poncelet et Lesbros, dans leurs belles recherches sur l'écoulement de l'eau.

Mais nous devons dire de suite que les dispositions locales et le rapprochement des orifices ayant occasionné quelques différences dans la valeur des coefficients de la dépense, on a été obligé de se livrer à des expériences spéciales, très-utiles d'ailleurs, pour déterminer les valeurs particulières qu'il convenait de leur attribuer dans chacun des cas variés qui se sont présentés.

Ces expériences étaient rendues faciles, et l'exactitude de leurs résultats ne pouvait rien laisser à désirer, attendu que la grande étendue de la rigole régulière, dans laquelle les eaux pouvaient être reçues, permettait de déterminer exactement le volume d'eau qui y avait afflué.

Outre l'usage ultérieur qui a été fait de ces résultats pour les recherches spéciales qui sont l'objet du Mémoire, elles ont donc pu fournir des données utiles à l'art de l'ingénieur, quant à l'écoulement de l'eau par des vannages accolés plus ou moins nombreux.

Moyens employés pour déterminer la vitesse en différents points d'une même section. — L'étude de la distribution des vitesses dans les différentes parties d'une même section faite dans un courant, est l'une des questions les plus délicates et les plus controversées de l'hydraulique, et sa solution ne pouvant être obtenue que par l'expérience, la recherche des instruments à employer présente une grande importance. Aussi a-t-elle depuis longtemps occupé les hydrauliciens. Il était réservé à feu M. Darcy d'arriver, par des perfectionnements bien conçus et bien étudiés, à rendre d'un usage commode et sûr l'appareil connu sous le nom de *tube de Pitot*, qui, jusqu'à lui, n'inspirait qu'une médiocre confiance aux observateurs.

On sait que c'est en 1732 que Pitot présenta à l'Académie des sciences l'appareil qui porte son nom, et qui « consistait en une longue tringle en » bois de section triangulaire, dans l'une des faces de laquelle étaient logés » deux tubes en verre. L'un de ces tubes était horizontalement recourbé » à son extrémité inférieure; l'autre, au contraire, descendait verticale- » ment jusqu'au niveau de la partie recourbée du premier. »

L'opinion de Pitot était que son appareil, exposé au courant de l'eau, donnerait par la différence de niveau existant entre les deux colonnes d'eau logées dans les deux tubes, la hauteur due à la vitesse du fluide au point que l'on considérait, et qu'il serait facile, dès lors, de déduire la vitesse cherchée au moyen de la relation $V^2 = 2gh$, h étant la différence observée.

L'idée était simple et ingénieuse ; mais, malgré les tentatives de Dubuat et de plusieurs expérimentateurs, diverses circonstances s'étaient opposées jusqu'ici à ce que l'on en déduisît un moyen commode et suffisamment sûr de déterminer la vitesse des différents filets fluides d'une même section. Il était réservé à M. Darcy de les faire disparaître par un ensemble de dispositions ingénieuses, auxquelles il a été conduit par des considérations développées dans son Mémoire sur le *Mouvement de l'eau dans les tuyaux de conduite*, auquel nous renverrons aussi pour la description de l'instrument.

D'après ces considérations, l'élévation h' du niveau dans le premier des deux tubes qu'il employait et la dénivellation h'' dans le second, par rapport au niveau général du courant, donneraient, par leur somme $h'+h''$ introduite dans la formule

$$V = \mu\sqrt{2g(h'+h'')},$$

la vitesse des filets fluides à l'extrémité du tube horizontal, si l'on connaissait le coefficient μ par une tare préalable de l'instrument.

Tels sont la formule et les moyens employés par M. Darcy; mais il y a ajouté d'autres dispositions ingénieuses qui rendent les observations plus faciles et plus sûres. On les trouvera décrites dans le Mémoire de M. Bazin.

Tare du tube jaugeur. — Après les indications que nous venons de donner des perfectionnements apportés au tube de Pitot par M. Darcy, il est nécessaire de justifier la confiance que lui et ses collaborateurs ont ajoutée aux indications qu'il leur a fournies pour leurs importantes expériences, en faisant connaître les différents procédés qu'ils ont employés pour les vérifier.

A cet effet, ils ont procédé au tarage de cet instrument de trois manières différentes :

1° En mesurant, à l'aide de flotteurs, la vitesse superficielle d'un courant et en comparant les résultats obtenus aux indications du tube;

2° En faisant mouvoir l'instrument avec une vitesse connue dans une eau tranquille ;

3° En mesurant, à l'aide du tube, la vitesse en un grand nombre de points de la section transversale d'un courant, et en comparant ensuite la valeur du débit connu à l'avance avec les indications de l'instrument.

Ces trois modes de tare, complétement indépendants les uns des autres, ont donné pour le coefficient μ de la formule :

Le premier, moyenne de 92 expériences.....	$\mu = 1,007$;
Le deuxième, moyenne de 32 expériences.....	$\mu = 1,034$;
Le troisième, moyenne de 31 expériences.....	$\mu = 0,993$.

M. Bazin fait remarquer que les résultats fournis par le mouvement d'une barque ont dû donner des valeurs un peu trop fortes pour le coefficient de tare, par suite de la forme de l'avant-bec de cette barque, qui déterminait une certaine inclinaison. C'est par ce motif que l'on a pris pour la valeur définitive du coefficient de la formule la moyenne arithmétique de la première et de la troisième valeur, qui est $\frac{1,007+0,993}{2} = 1,00$.

Ce coefficient dépend d'ailleurs des proportions des appareils, et s'il est constant pour un même instrument, il varie de l'un à l'autre, selon la disposition et les dimensions relatives des orifices.

Après cet examen préalable, mais nécessaire, des moyens d'expérimentation organisés par M. Darcy et mis en usage par M. Bazin, il convient d'aborder la question la plus importante qui est l'objet principal des belles et laborieuses recherches dont ce dernier ingénieur nous présente les résultats et la discussion dans son remarquable Mémoire; c'est celle de la résistance que les parois des canaux et des rivières offrent au mouvement de l'eau parvenu à l'état de régime uniforme.

On sait que la formule donnée par Prony et qui devient

$$RI = aU + bU^2,$$

dans laquelle R est le rapport de l'aire A de la section transversale du courant au périmètre mouillé S de cette section ou ce que l'on nomme le *rayon moyen*, $I = \frac{H}{L}$ la pente par mètre courant ou le rapport supposé constant de la pente totale H à la longueur L considérée, U la vitesse moyenne, a et b des coefficients numériques constants, n'a été basée que sur la discussion d'un petit nombre d'expériences faites dans des circonstances qui n'étaient en réalité que fort peu comparables.

Depuis longtemps beaucoup d'hydrauliciens avaient proposé de la modifier.

Quelques ingénieurs, et généralement les auteurs italiens, étaient revenus à la formule monôme proposée dès 1775 par M. de Chézy, et qui est

$$RI = bU^2,$$

dans laquelle on fait ordinairement $b = 0,0004$.

M. de Saint-Venant remplaçait dans la même formule l'exposant 2 par $\frac{21}{11}$ en laissant au coefficient b à peu près la même valeur.

Mais tous ces hydrauliciens avaient continué à admettre, d'après Dubuat, que la nature de la paroi était sans influence sensible sur l'intensité de la résistance qu'elle oppose au mouvement, ce qui ne pouvait plus être considéré même comme approximativement exact, depuis les expériences de M. Darcy sur l'écoulement de l'eau dans les tuyaux de conduite, qui avaient mis en évidence l'influence très-considérable qu'exercent l'état des parois et la nature de la matière dont ils sont formés.

Si, pour des surfaces aussi régulières que celles des parois intérieures des tuyaux, il était devenu désormais incontestable que la résistance qu'elles opposent au mouvement des fluides dépend essentiellement de leur nature et de leur état, il était évident qu'il devait en être *à fortiori* de même quand il s'agissait du mouvement de l'eau dans des canaux ou dans des rivières, dont les parois présentent des aspérités de proportions bien plus grandes.

Pour mettre en évidence l'inexactitude des formules employées jusqu'à ce jour et obtenir quelques indications sur l'écart auquel elles pouvaient conduire, M. Darcy pria d'abord M. Baumgarten d'exécuter des expériences préliminaires sur le canal de Marseille, qui offre une grande variété de profils et des matières de parois très-diverses.

Ces expériences, faites en mai 1855, montrèrent que, si, pour une partie de l'aqueduc de Roquefavour, dont le fond avait une surface très-unie et des côtés en briques bien rejointoyées, la valeur du rapport $\frac{RI}{U^2}$ n'était guère que la moitié de celle que lui assignent les anciennes formules, elle en devenait à peu près le double pour une partie du canal dont les parois étaient en terre.

D'autres expériences plus variées, exécutées en 1856 par M. Bazin sur des canaux rectangulaires de même pente et de même largeur, mais dont les parois ont présenté les matières suivantes : ciment pur, briques posées à plat, petit gravier de $0^m,01$ à $0^m,02$ de diamètre et gros gravier de $0^m,03$ à $0^m,04$ de diamètre, maintenus par un enduit de ciment, ont montré qu'à mesure que le débit et la vitesse augmentaient, les valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$,

au lieu de varier seulement de 0,000327 à 0,000389 comme les formules de Prony l'indiquent, avaient été en décroissant :

Pour les parois	en ciment, de.....	0,000242 à 0,000172
»	en planches, de.....	0,000411 à 0,000229
»	en briques, de.....	0,000408 a 0,000277
»	en gravier, de.....	0,000882 à 0,000472
»	en cailloux, de.....	0,001454 à 0,000661

Enfin, une autre expérience faite sur un canal à section demi-circulaire a même montré qu'entre une paroi enduite de ciment mélangé d'un tiers de sable et une paroi en ciment pur, il existait en faveur de la seconde, une différence de résistance qui, à pente égale, pouvait augmenter le débit dans le rapport de 1 à 1,13 ou de $\frac{1}{7,7}$ environ.

Il devint donc évident, par ces expériences comparatives, que la nature des parois avait, pour les canaux, de même que pour les tuyaux de conduite, sur la valeur de la résistance qu'elles opposent au mouvement de l'eau, bien plus d'influence même que M. Darcy n'en avait trouvé dans ce dernier cas.

D'autres expériences non moins concluantes ont été exécutées sur les rigoles dépendant du canal de Bourgogne, qui se trouvaient dans les conditions normales des canaux ordinaires. Leurs résultats montrent : 1° que la résistance dans ces rigoles a toujours été beaucoup plus considérable que les formules de Prony et d'Eytelwein ne le faisaient penser ; 2° que les valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$ décroissent à mesure que le débit augmente.

On a reconnu enfin, par deux de ces séries, que la présence seule de la mousse sur les parois d'un perré peut faire croître la résistance dans le rapport de 1 à 2.

En présence de ces variations si grandes d'un rapport que les hydrauliciens avaient presque tous jusqu'ici regardé comme à peu près constant, et dont la valeur paraît dépendre de tant d'éléments divers, il semble impossible de chercher à en déterminer la loi par des considérations physiques ou mathématiques générales. On est alors réduit à étudier les cas principaux qui se présentent le plus souvent dans la pratique, et à chercher à lier les résultats par des formules d'interpolation qui les représentent avec une exactitude suffisante pour les besoins des applications.

Dubuat avait déjà remarqué que le rapport $\frac{RI}{U^2}$ diminuait lorsque le

rayon moyen $R = \frac{A}{S}$ et la vitesse augmentent, mais les limites entre lesquelles il avait pu faire varier les données de ses expériences étaient trop restreintes pour qu'il pût déterminer la loi de cette variation.

D'une autre part, l'examen des diverses séries d'expériences rapportées dans le Mémoire de M. Bazin montrant que la valeur de ce rapport paraît tendre vers une certaine limite constante, il s'ensuit qu'en désignant cette limite par α, la valeur du rapport $\frac{RI}{U^2}$ aurait pour expression générale

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + f(R, U).$$

M. Bazin a comparé les résultats des expériences aux deux formes les plus simples de la fonction inconnue, en supposant successivement

$$f(R, U) = \frac{\beta}{R} \quad \text{et} \quad f(R, U) = \frac{\beta}{U},$$

et en choisissant pour cette comparaison cinq séries d'expériences pour lesquelles la pente I par mètre courant était la même et égale à $0^m,0049$, et pour lesquelles le profil rectangulaire avait des largeurs presque identiques. Dans ces expériences les vitesses ont varié, dans des limites étendues qui comprennent et dépassent même celles des cas de la pratique, où l'on a à calculer les proportions à donner aux canaux de navigation et d'usines.

Or, en représentant tous les résultats des observations par des constructions graphiques; en prenant, dans tous les cas, les valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$ pour ordonnées, et successivement pour abscisses celles de $\frac{1}{R}$ et celles de $\frac{1}{U}$, M. Bazin a reconnu que pour une même pente de 0,0049 et un même profil, les points ainsi déterminés se trouvaient, dans les deux cas, à très-peu près sur des lignes droites, dont il a trouvé ainsi l'équation pour chacun des cinq canaux sur lesquels ces expériences ont été faites, tandis que les formules qui font abstraction de la nature des parois et qui seraient, d'après

Prony. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0,000309 + \frac{0,000044}{U}$,

Eytelwein. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0,000366 + \frac{0,000024}{U}$,

et M. de Saint-Venant. . . $\frac{RI}{U^2} = 0,000401 \left(\frac{1}{U}\right)^{\frac{1}{11}}$,

étant aussi représentées graphiquement, il est facile de reconnaître qu'au-

cune d'elles ne reproduit les résultats des observations et que par conséquent elles doivent toutes être abandonnées.

Influence de la pente I. — Mais si les cinq séries d'expériences précédentes, faites dans des canaux qui avaient tous la même pente et des profils rectangulaires identiques et dans lesquels la nature seule des parois a varié, ont servi à montrer la nécessité de tenir compte de ce dernier élément, et si leurs résultats peuvent être à peu près indifféremment représentés par l'une ou l'autre des deux formules d'interpolation précédentes, en y introduisant les valeurs convenables pour les coefficients, il restait à savoir si l'une ou l'autre de ces formules pouvait convenir pour des pentes et des profils différents. C'est ce qui a fait l'objet des expériences exécutées en 1858 et 1859 par M. Bazin, après la mort prématurée de M. Darcy.

Afin de ne pas compliquer la question de l'influence accidentelle et déjà signalée que des différences, en apparence très-légères, dans la nature des parois, pouvaient exercer, on se décida à opérer sur trois pentes différentes de $0^m,0015$, $0^m,0059$ et $0^m,00886$ par mètre, avec des canaux en planches rectangulaires ayant tous la même largeur de $1^m,96$ environ.

Pour étudier l'influence de parois présentant des aspérités diverses, sans changer la nature des matériaux, on se résolut à n'employer, dans tous les cas, que le bois, et à créer dans les parois de plusieurs des canaux en expérience des aspérités artificielles, en y fixant régulièrement des liteaux de $0^m,027$ de largeur sur $0^m,010$ d'épaisseur, que l'on a placés d'abord à $0^m,01$, puis à $0^m,05$ les uns des autres. On a eu ainsi neuf séries d'expériences faites sur trois canaux identiques chaque fois quant aux parois, mais de pentes différentes.

En calculant pour chacune de ces séries la valeur du rapport $\frac{RI}{U^2}$, M. Bazin a reconnu que cette valeur va toujours en diminuant, à mesure que le volume d'eau débité et la vitesse augmentent, et que, pour le débit d'un même volume, ce rapport augmente, mais assez lentement, avec la pente et la vitesse ou à mesure que la hauteur d'eau décroît.

Ainsi, en passant du débit de $0^{mc},100$ en une seconde à celui de $1^{mc},236$, la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ varie : pour le canal à parois en planches, de 0,000420 à 0,000226 pour la pente de $0^m,0015$; pour le canal à parois garnies de liteaux espacés de $0^m,01$, elle varie de 0,000654 à 0,000338, et, pour le canal à parois garnies de liteaux espacés de $0^m,05$, elle varie de 0,001379 à 0,000659.

On est donc conduit à conclure de cette discussion que la formule $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{U}$, qui n'est autre chose que la formule binôme adoptée par Prony et par Eytelwein et employée jusqu'ici, doit être complétement abandonnée, tandis que la formule $\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}$ paraît beaucoup plus convenable pour représenter les résultats de l'observation relatifs à un même état des parois et à des pentes diverses.

Influence de la forme du profil transversal des canaux. — Les canaux ont le plus souvent pour profil un rectangle ou un trapèze; quelquefois cependant, quand ils sont étroits et profonds par rapport à leur largeur, ce dernier profil se rapproche beaucoup de la forme triangulaire. Enfin les radiers de certaines rigoles en maçonnerie ont un profil en arc de cercle.

Les expériences relatives à l'influence de la forme du profil des canaux dont les résultats sont consignés dans le Mémoire de M. Bazin ont été exécutées :

1° Sur trois canaux en planches à section rectangulaire de $1^m,197$, $0^m,80$ et $0^m,48$ de largeur;

2° Sur deux canaux à section en trapèze, dont l'un avait 1 mètre de largeur au fond et des talus inclinés à 45 degrés, et l'autre $0^m,945$ de largeur au fond avec une paroi verticale et l'autre inclinée à 45 degrés;

3° Sur un canal en planches à section triangulaire, dont les côtés étaient inclinés à 45 degrés.

Les six séries d'expériences exécutées sur ces canaux, et dans lesquelles les vitesses ont varié de $0^m,73$ à $2^m,40$ en une seconde, s'accordent toutes, à peu près, pour montrer que la figure du profil transversal ne paraît pas exercer une influence assez grande pour qu'il y ait lieu d'en tenir compte dans les applications.

Mais les sections circulaires, par suite de la suppression des angles et de la continuité de leur contour, semblent donner lieu, toutes choses égales d'ailleurs, à une résistance sensiblement moindre que celle qui est offerte par des profils anguleux, ce qui justifie l'usage adopté de donner aux cunettes des égouts un profil à peu près circulaire.

Des canaux et des rigoles à petite section. — Lorsqu'il s'agit de petits canaux à grande pente ou de rigoles analogues à celle que l'on emploie pour les irrigations et qui, par la présence des herbes et l'irrégularité de leurs parois, offrent une résistance très-grande, quoique la vitesse ne dépasse guère un mètre par seconde, le rapport $\frac{RI}{U^2}$ ne semble plus suivre la même loi que

pour les grands canaux, et de même que M. Darcy l'avait remarqué au sujet des tuyaux de conduite où la vitesse est très-faible, c'est le rapport $\frac{RI}{U}$ qui paraît devenir constant pour une même pente, mais croissant avec la pente. Ce cas n'étant pas celui qui importe le plus à l'art de l'ingénieur, nous ne nous y arrêterons pas dans ce Rapport.

Expériences pratiques sur les rigoles du canal de Bourgogne. — Après avoir discuté les résultats des expériences diverses exécutées pour démêler la loi que pouvait suivre la résistance des parois dans différents cas, M. Bazin s'occupe, dans le troisième chapitre de son Mémoire, de chercher à représenter par des formules d'interpolation d'une exactitude suffisante pour la pratique de l'art de l'ingénieur les résultats des nombreuses expériences faites sur les divers canaux ou rigoles dépendant du canal de Bourgogne et qui offraient les diverses natures de parois que l'on rencontre le plus souvent.

Rigole de décharge du réservoir de Grosbois. — Deux séries d'expériences ont été faites sur le mouvement de l'eau dans cette rigole, dont les parois en moellons rejointoyés en ciment offrent une surface très-régulière. Elle a $1^m,80$ de largeur au fond et des parois à peu près verticales ayant un fruit de $\frac{1}{10}$. Le fond était recouvert d'un léger dépôt limoneux.

La vitesse a varié de $2^m,757$ à $6^m,429$, ce qui excède probablement les limites atteintes dans toutes les expériences précédentes, et la vitesse de superficie s'est élevée jusqu'à $9^m,16$.

Les pentes des parties sur lesquelles on a opéré ont été égales à $0^m,037$ et à $0^m,101$ par mètre.

La représentation graphique des résultats a montré qu'ils pouvaient être représentés avec une exactitude suffisante par les formules d'interpolation suivantes :

(1) Pente de $0^m,037$ par mètre. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0,000256 + \frac{0,000053}{R}$,

(2) Pente de $0^m,101$ par mètre. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0,000309 + \frac{0,000040}{R}$,

Malgré leur dissemblance apparente, qui dénote l'influence de la pente sur la valeur des coefficients, les deux formules ci-dessus fournissent à très-peu près les mêmes valeurs du rapport $\frac{RI}{U^2}$.

Les pentes des canaux et des rigoles atteignant rarement $0^m,037$ par mètre et presque jamais $0^m,101$ par mètre, l'on voit que la formule (1)

pourra être employée dans la plupart des cas, où les revêtements seront de même nature que ceux de la rigole dont il est ici question.

Formules pratiques d'interpolation. — Si la discussion des nombreuses expériences rapportées par M. Bazin montre que la formule binôme

$$RI = aU + bU^2,$$

adoptée par Prony et par Eytelwein, non plus qu'aucune formule monôme à coefficient constant indépendant de la nature des parois et de la pente, ne peuvent représenter les résultats de l'observation, la formule

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R},$$

proposée par M. Darcy et appliquée par M. Bazin, quoique plus voisine de l'exactitude, ne peut être d'accord avec l'observation qu'autant que ses coefficients α et β recevront pour chaque cas particulier des valeurs spéciales.

Or la nature, l'état des parois, la quantité plus ou moins grande et sans cesse variable d'herbes qui les recouvre, sont autant de causes indépendantes, dont il n'est possible à aucune théorie ni à aucune formule de tenir compte.

Il faut donc de toute nécessité se contenter de réduire le nombre des cas spéciaux à admettre à un petit nombre, qui se rapportent aux circonstances les plus ordinaires de la pratique, et chercher à déduire de l'ensemble des expériences des formules usuelles d'interpolation d'une exactitude suffisante.

Pour y parvenir et pour relier autant que possible les observations antérieures aux nouvelles, M. Bazin fait remarquer d'abord que, d'une part, Dubuat avait opéré sur de petits canaux en bois, et que ce sont ses expériences qui ont servi de base à la formule de Prony, tandis que les hydrauliciens allemands ont expérimenté principalement sur de grands cours d'eau.

Classant ensuite entre eux les canaux selon la nature de leurs parois, il distingue quatre types principaux, auxquels il cherche à rattacher tous les autres; ce sont les suivants :

1° Parois très-unies (ciment lissé, bois raboté avec soin, etc.);

2° Parois unies (pierre de taille, brique, planche, ciment mélangé de sable, etc.);

3° Parois peu unies, en maçonnerie de moellons;

4° Parois en terre.

Il ne s'occupe d'ailleurs que des canaux à section rectangulaire ou en trapèze.

De la discussion de tous les résultats des expériences qui peuvent rationnellement se rattacher à l'un des quatre types précédents, M. Bazin a déduit les formules pratiques suivantes :

1er type, parois très-unies. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00015 \left(1 + \frac{0{,}03}{R}\right)$,

2e type, parois unies. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00019 \left(1 + \frac{0{,}07}{R}\right)$,

3e type, parois peu unies . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00024 \left(1 + \frac{0{,}25}{R}\right)$,

4e type, parois en terre.. . . . . $\frac{RI}{U^2} = 0{,}00028 \left(1 + \frac{1{,}25}{R}\right)$.

Puis, en représentant graphiquement d'abord les lignes droites dont ces formules expriment l'équation, et reportant sur ces figures, en y désignant par des lettres particulières tous les résultats des expériences anciennes ou nouvelles, selon que, par la nature des canaux où elles ont été faites, elles se rapportent à l'un ou à l'autre de ces quatre types, il fait voir que ces résultats de tous les observateurs peuvent être, avec une exactitude suffisante pour la pratique, reproduits par la formule correspondante. C'est ce que justifient les figures de la *Pl. XVI* du Mémoire de M. Bazin.

Il y a même cela de remarquable que l'une des figures qui semblent reproduire avec le plus d'exactitude les résultats des observations est la ligne droite sur laquelle sont reportés les résultats des expériences sur les canaux ou rivières à parois en terre, dues à Dubuat sur le canal du Jard et sur la rivière de Hayne, à Funk sur le Weser, à M. Baumgarten sur le canal de Marseille, ceux des expériences exécutées sur la Seine, en 1851-1852, par M. Villevert, sous la direction de M. Poirée, ingénieur des Ponts et Chaussées, et en 1852-1853, par M. Bonnet, sous la direction de M. Emmery, ingénieur des Ponts et Chaussées ; sur la Saône, en 1858-1859, sous la direction de M. Léveillé, ingénieur des Ponts et Chaussées, et enfin ceux des six séries spéciales d'expériences exécutées par M. Bazin sur les rigoles de Chazilly et de Grosbois du canal de Bourgogne.

Rapport entre la vitesse moyenne et la vitesse maximum. — Une autre recherche fort importante pour les applications, c'est celle du rapport qui existe dans un courant d'eau entre la vitesse moyenne U et la vitesse maxi-

mum V déduite de l'observation directe faite, le plus souvent, à l'aide de flotteurs.

On sait, en effet, que dans la plupart des cas l'on est réduit pour le jaugeage des cours d'eau à déterminer par ce moyen la vitesse V à la surface et à en conclure à l'aide de la formule empirique donnée par Prony,

$$\frac{U}{V} = \frac{V + 2.372}{V + 3.153},$$

la vitesse moyenne U que l'on multiplie ensuite par la surface du profil moyen du cours d'eau dans la portion où l'on a opéré.

Or, cette formule empirique n'a été déduite par Prony que des expériences faites par Dubuat sur de petits canaux en bois et ne saurait évidemment convenir à tous les cas, puisqu'il est maintenant bien démontré, par les études de M. Darcy et de M. Bazin, que la résistance des parois, qui a une grande influence sur la valeur du rapport $\frac{U}{V}$, varie beaucoup avec la nature de ces parois.

Il était donc nécessaire d'étudier la marche que ce rapport avait pu suivre dans les nouvelles et nombreuses recherches de M. Bazin, et cette question présentait par elle-même des difficultés assez grandes.

En effet, quoique dans les cours d'eau les filets animés de la vitesse maximum soient généralement très-près de la surface, l'on sait cependant que dans les courants profonds cette vitesse maximum ne se trouve qu'à une distance de la surface d'autant plus grande, que la profondeur est plus considérable par rapport à la largeur. Il y a longtemps que les bateliers du Rhin et nos pontonniers savent qu'un bateau chargé et ayant un fort tirant d'eau marche, en descendant, plus vite que l'eau qui le soutient ou que les corps flottants à la surface.

Il suit de là que les observations faites avec des flotteurs ne donnent pas toujours la valeur de la vitesse maximum, à moins qu'ils ne soient convenablement immergés.

D'une autre part, quand, à l'inverse, le courant n'a qu'une petite profondeur, pour peu que le flotteur soit épais, la plus grande vitesse étant alors très-près de la surface, il est très-difficile de contrôler les indications des flotteurs par celles du tube jaugeur, qui ne sont exactes que quand ce tube est suffisamment immergé.

L'on comprend, par ce peu de mots, la difficulté du problème d'hydraulique expérimentale que se proposait d'étudier M. Bazin, et la nécessité

où il s'est trouvé de choisir, parmi les séries d'expériences dont il disposait, celles qui étaient le moins exposées aux anomalies résultant des deux causes principales que nous venons d'indiquer, ainsi que de quelques autres moins importantes.

L'examen général des résultats d'observation lui ayant, dès l'abord, montré que le rapport $\frac{U}{V}$ diminuait à mesure que la résistance de la paroi augmentait, il en a conclu qu'il devait exister entre le rapport $\frac{V}{U}$ et le rapport $\frac{RI}{U^2}$, qu'il a désigné par A, une relation de la forme

$$\frac{V}{U} = 1 + f\left(\frac{RI}{U^2}\right),$$

attendu que $\frac{V}{U}$ doit évidemment être égal à l'unité quand $f\left(\frac{RI}{U^2}\right)$ sera nul.

Parmi les formes que peut prendre la fonction inconnue, la plus simple étant

$$f\left(\frac{RI}{U^2}\right) = K\sqrt{\frac{RI}{U^2}},$$

dans laquelle K serait un coefficient constant, M. Bazin a recherché si effectivement cette formule ne serait pas assez d'accord avec les résultats de l'observation pour qu'au moyen d'une valeur déterminée du coefficient K, le rapport $\frac{V}{U}$ pût être représenté par la formule

$$\frac{V}{U} = 1 + K\sqrt{\frac{RI}{U^2}}.$$

Or, en tirant de cette formule

$$K = \frac{\frac{V}{U} - 1}{\sqrt{\frac{RI}{U^2}}},$$

et en calculant d'après les observations pour lesquelles les valeurs de la vitesse déterminées à l'aide des flotteurs et contrôlées avec le tube jaugeur ont offert le plus de régularité, M. Bazin a trouvé que, si la valeur du coefficient K varie un peu avec celle du rapport $\frac{RI}{U^2}$, elle ne s'éloigne cependant guère de la valeur moyenne $K = 14,1$ ou plus simplement $K = 14$, tant que $\frac{RI}{U^2}$ n'excède pas 0,001000, ce qui est le cas le plus général.

Il suit de là que le rapport de la vitesse maximum observée près de la surface à la vitesse moyenne U serait donné, entre les limites des observations les plus régulières, par la formule

$$\frac{V}{U} = 1 + 14\sqrt{\frac{RI}{U^2}},$$

d'où l'on peut tirer

$$V - U = 14\sqrt{RI}.$$

Cette formule montre que le rapport $\frac{V}{U}$ de la vitesse près de la surface à la vitesse moyenne croît proportionnellement à la racine carrée du rayon moyen R, proportionnellement à la racine carrée de la pente I par mètre courant, et en raison inverse de la vitesse moyenne U.

Dans les canaux dont la largeur est très-grande par rapport à la profondeur d'eau, le rayon moyen diffère très-peu de cette profondeur, et alors le rapport $\frac{V}{U}$ croît proportionnellement à la racine carrée de la profondeur.

Comparaison des résultats de la formule précédente avec les résultats fournis par la formule de Prony et par l'expérience. — La question dont il s'agit ici ayant pour les cours d'eau une grande importance, puisque, la plupart du temps, l'on ne peut déterminer que la vitesse à la surface, à l'aide de flotteurs, il était nécessaire de mettre en regard les résultats déduits de l'observation avec ceux de la formule proposée et avec ceux de la formule de Prony. C'est ce qu'a fait avec soin M. Bazin dans un tableau où les vitesses de superficie observées ont varié de $0^m,315$ à plus de $6^m,00$ en une seconde.

L'examen de ce tableau montre que, si la formule de Prony s'accorde assez bien avec l'observation, lorsque la résistance des parois est peu considérable, comme il était facile de le prévoir, puisqu'elle a été déduite d'expériences faites sur des canaux en bois, il n'en est plus de même à mesure que cette résistance augmente.

Il convient de faire remarquer, avec M. Bazin, que l'erreur que l'on peut commettre en appliquant la formule qu'il propose aux dix-huit expériences où la valeur de $\frac{RI}{U^2}$ dépasse 0,001000 n'atteint pas en moyenne 0,03 de la vitesse moyenne U observée dans ces dix-huit expériences,

tandis que celle que peut donner la formule de Prony s'élève en moyenne à 0,186 de cette vitesse, et que, parfois, elle atteint plus de la moitié de la valeur de la vitesse déduite de l'observation.

Il résulte donc de cette discussion que la relation entre la vitesse maximum observée près de la surface, à l'aide de flotteurs ou d'autres moyens, et la vitesse moyenne, peut être représentée avec l'exactitude nécessaire pour les applications par la formule

$$V - U = 14\sqrt{RI} \quad \text{ou} \quad U = V - 14\sqrt{RI}.$$

Lorsqu'il s'agit du jaugeage d'un cours d'eau, l'on peut déterminer par l'observation directe les quantités V, R et I, et, par conséquent, la vitesse moyenne U, qu'il suffit ensuite de multiplier par l'aire de la section transversale pour obtenir le débit, sans qu'il soit nécessaire alors de tenir compte de la résistance des parois, dont l'influence est implicitement comprise dans les valeurs qu'ont prises les quantités connues.

En joignant la formule précédente à celles qui ont été données plus haut pour les quatre types auxquels on peut rapporter la plupart des canaux dont on veut étudier le régime ou que l'on veut établir dans des conditions à peu près données, on pourra résoudre les questions d'application qui se présentent à l'ingénieur, et l'on aura la certitude d'obtenir des solutions, sinon rigoureuses, au moins plus exactes que celles que l'on pouvait jusqu'ici déduire des règles connues.

A l'exemple de Prony, M. Bazin a cru devoir joindre à son Mémoire des Tables destinées à faciliter les calculs relatifs au mouvement uniforme de l'eau dans les canaux.

Les formules d'interpolation auxquelles il est parvenu étant

$$\frac{RI}{U^2} = \alpha + \frac{\beta}{R}, \text{ d'où l'on tire } RI = \left(\alpha + \frac{\beta}{R}\right) U^2 \text{ et } U = \frac{\sqrt{RI}}{\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}},$$

et

$$U = V - 14\sqrt{RI}, \text{ d'où } \frac{U}{V} = \frac{1}{1 + 14\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}},$$

il a calculé pour les quatre types de canaux auxquels il propose de rapporter les différents cas de la pratique :

1° Deux tables faisant connaître pour toutes les valeurs du rayon moyen

R que l'on peut rencontrer dans la pratique les valeurs correspondantes de $\alpha + \frac{\beta}{R}$ et de $\sqrt{\alpha + \frac{\beta}{R}}$,

2° Deux Tables donnant les valeurs du rapport $\frac{U}{V}$ de la vitesse moyenne à la vitesse maximum pour les différentes valeurs du rayon moyen R ou du coefficient $\alpha + \frac{\beta}{R}$.

Ces Tables peuvent être utiles, mais les formules sont assez simples et d'un usage assez commode pour qu'elles ne soient pas nécessaires aux ingénieurs.

Recherches sur la résistance que l'air exerce sur la surface d'un courant. — L'on a souvent attribué à cette résistance une influence assez considérable pour qu'il soit nécessaire d'en tenir compte, et M. Darcy s'était aussi proposé d'étudier cette question assez délicate, en même temps que la répartition des vitesses, soit dans une même section transversale, soit dans une section longitudinale.

Pour y parvenir, il fit faire en 1857 un tuyau rectangulaire auquel il donna $0^m,80$ de largeur sur $0^m,50$ de hauteur, et plus tard, en 1859, M. Bazin en fit établir un deuxième de $0^m,48$ de largeur sur $0^m,30$ de hauteur. On détermina d'abord les volumes d'eau débités par ces tuyaux coulant à gueule bée sous une pente donnée, puis on enleva leur paroi supérieure et l'on y fit de nouveau couler l'eau à surface découverte.

D'autres expériences spéciales ayant montré que, dans l'écoulement par les tuyaux pleins les vitesses des filets placés aux mêmes distances verticales au-dessus et au-dessous de l'axe des tuyaux étaient égales, il s'ensuivait qu'en supposant le profil du canal partagé en deux moitiés par une ligne horizontale, il s'écoulait par chacune d'elles des volumes égaux. Cela posé, si, dans le canal découvert de même largeur, l'on faisait, avec la même pente motrice, couler une nappe fluide d'une épaisseur égale à la moitié de la hauteur du canal fermé, l'influence de la résistance retardatrice que l'air pouvait exercer sur la surface devait se manifester en rendant le volume d'eau écoulé dans le canal ouvert inférieur à la moitié de celui qu'avait débité le tuyau plein de même largeur.

Or, deux expériences très-comparatives, faites dans les conditions que nous venons d'indiquer, ont donné les résultats suivants :

TUYAU DE 0m,80 DE LARGEUR.		TUYAU DE 0m,48 DE LARGEUR.	
FERMÉ.	DÉCOUVERT.	FERMÉ.	OUVERT.
Hauteur..... 0m,50	Hauteur d'eau. 0m,2458	Hauteur..... 0m,30	Hauteur d'eau. 0m,1513
Pente..... 0,00427	Pente..... 0,00430	Pente..... 0,00627	Pente... 0,00600
Débit..... 0mc,618	Débit..... 0mc,307	Débit..... 0mc,191	Débit..... 0mc,093

Ces expériences ayant été d'ailleurs faites par un temps calme, elles semblent indiquer que l'air n'oppose pas au mouvement de l'eau une résistance assez notable pour contrarier l'écoulement, du moins en ce qui concerne le volume d'eau débité.

Mais il n'en est pas à beaucoup près de même quant à la répartition des vitesses des filets fluides qui traversent une même section. Des expériences nombreuses faites avec beaucoup de soin par M. Bazin à l'aide du tube jaugeur de M. Darcy, et par lesquelles il a déterminé les vitesses en quarante-cinq points symétriquement répartis d'un même profil transversal, lui ont d'abord montré, comme nous l'avons indiqué plus haut, que la répartition de ces vitesses dans les tuyaux fermés se faisait avec une très-grande symétrie, et que si, à l'aide de certaines opérations graphiques très-simples qu'il indique, on déterminait dans chacun de ces profils le lieu des filets animés d'égales vitesses à différentes distances de l'axe du tuyau, on obtenait des courbes fermées parfaitement symétriques et qui se rapprochaient d'autant plus de la forme de rectangles à angles arrondis et à côtés parallèles aux parois du tuyau, qu'elles se rapportaient à des filets plus voisins de ces parois.

Mais M. Bazin a trouvé qu'il en était tout autrement dans les canaux découverts. Les courbes des filets d'égale vitesse les plus voisines des parois sont encore des rectangles dont les côtés verticaux s'arrêtent à peu près à angle droit à la surface; mais à mesure qu'on s'éloigne des parois et que les vitesses vont par conséquent en croissant, ces courbes tendent de plus en plus à se fermer vers leur partie supérieure, et elles viennent couper la surface du liquide sous des angles de plus en plus aigus. Enfin, quand la profondeur du courant atteint ou dépasse le tiers de la largeur du canal, les courbes les plus voisines du milieu, et dans lesquelles la vitesse est la plus grande, se ferment complétement et limitent ainsi une sorte de noyau fluide central dont tous les filets traversent le profil avec une même vitesse supé-

rieure à celle de tous ceux de la surface. Cette tendance des courbes à se fermer est d'autant plus sensible, que la résistance des parois est plus considérable ou que les vitesses sont moindres.

Des effets analogues se manifestent avec tous les profils de canaux, et la forme seule de ces courbes est influencée par celle du canal.

M. Bazin, en déterminant ces courbes d'égale vitesse, a eu soin de distinguer celle qui est relative aux filets animés de la vitesse moyenne, mais elle ne présente pas de circonstances particulières.

Les expériences délicates dont nous venons d'indiquer en peu de mots les résultats les plus saillants, montrent d'une manière évidente, comme le fait très-bien remarquer M. Bazin, que la distribution des vitesses dans un courant découvert est beaucoup plus compliquée qu'on n'aurait pu le penser, en voyant la régularité parfaite avec laquelle elles se répartissent au contraire dans l'intérieur d'un tuyau fermé.

Comment ces différences dans les vitesses des filets qui traversent une même section et leur répartition dans cette section se produisent-elles sans que le volume d'eau débité paraisse en être influencé, ainsi que semblent le prouver les observations comparatives faites entre les débits des tuyaux fermés et des canaux découverts dont nous avons rapporté plus haut les résultats? C'est ce que la science n'a encore pu expliquer complétement.

Quoi qu'il en soit, M. Bazin, ayant eu le soin de déterminer pour un grand nombre de profils réguliers rectangulaires ou circulaires, sept, huit et jusqu'à dix courbes de situation des filets animés de vitesses égales, a fourni, par ce long et patient travail, aux géomètres qui voudront s'occuper de la recherche des lois de la répartition des vitesses dans les nappes fluides, des données précieuses qui leur manquaient jusqu'à ce jour, pour vérifier l'exactitude des hypothèses que l'on peut faire sur ces phénomènes délicats.

Variation de la vitesse des filets fluides dans une même verticale. — M. Bazin s'est aussi occupé de cette recherche, qui a été traitée par beaucoup d'hydrauliciens, et il a employé à cet effet le tube jaugeur de M. Darcy, à l'aide duquel on peut obtenir des indications plus exactes et surtout beaucoup plus comparables entre elles que celles que fournissent les autres moyens mis en usage. Mais les canaux sur lesquels il a fait ses observations ne présentaient malheureusement que des profondeurs d'eau comprises entre $0^m,084$ et $0^m,380$, avec des vitesses moyennes comprises entre $2^m,573$ et $0^m,643$, c'est-à-dire entre des limites beaucoup trop restreintes pour

qu'il lui ait été possible de démêler la véritable loi de la variation des vitesses.

De la discussion des observations qu'il lui a été possible de faire, M. Bazin a pensé pouvoir déduire que l'excès de la vitesse V à la surface sur la vitesse v d'un filet situé à une profondeur h au-dessous de cette surface, dans un canal de pente I et de profondeur H données, variait comme le carré de la profondeur h et était exprimé par la formule

$$V - v = K\sqrt{RI}\left(\frac{h}{H}\right)^2,$$

dans laquelle :

V est la vitesse maximum supposée très-voisine de la surface,
v la vitesse d'un filet situé à la profondeur h,
H la profondeur totale du courant,
K un coefficient constant peu différent de 20.

On tire de cette formule

$$v = V - K\sqrt{RI}\left(\frac{h}{H}\right)^2 = V - \frac{K}{H^2}\sqrt{RI}\,h^2,$$

ce qui montre que la vitesse, à une profondeur donnée h, croît à mesure que la profondeur totale augmente, mais non d'une quantité constante, ou que le paramètre de la parabole, dont l'expression est $\frac{K}{H^2}\sqrt{RI}$, varie avec la profondeur H, au lieu de rester constant comme le pense un savant ingénieur qui a proposé une théorie du mouvement uniforme des eaux courantes.

La formule précédente ne s'applique d'ailleurs qu'à des cas où la vitesse maximum est très-voisine de la surface, ce qui est celui des expériences discutées par M. Bazin.

Elle s'éloigne un peu de celle que M. Boileau a, de son côté, cru pouvoir déduire d'expériences faites aussi sur de faibles profondeurs d'eau, et d'après laquelle la relation géométrique entre les profondeurs et les vitesses des différents filets situés sur une même verticale serait aussi représentée par une courbe à peu près parabolique, dont le sommet correspondant à la plus grande vitesse serait, pour les cas observés par cet officier, à une profondeur voisine du cinquième de celle de l'eau dans le canal.

Il serait, comme on le voit, à désirer que, profitant de la facilité que donne le tube jaugeur de M. Darcy d'obtenir la vitesse des filets situés à toutes les profondeurs, M. Bazin, ou quelque autre ingénieur placé dans des

circonstances favorables, pût opérer sur un grand cours d'eau, tel que le Rhin ou le Rhône, et étendre ces recherches entre des limites assez larges pour qu'il fût possible de démêler la véritable loi de variation des vitesses des filets qui passent dans une même verticale.

Outre l'intérêt que cette question présente au point de vue purement scientifique, comme elle conduirait à la connaissance, au moins très-approchée de la vitesse de fond, elle pourrait avoir pour l'art de l'ingénieur une véritable utilité.

Du mouvement varié dans les canaux. — On sait que l'étude du mouvement de l'eau dans les courants dont le régime n'est pas uniforme a fait l'objet de recherches importantes dues à M. Poncelet et à M. Bélanger, qui ont donné une expression analytique de l'abaissement de la surface de l'eau dans ces courants, entre deux profils où la vitesse moyenne est différente. Dans cette expression entrent un coefficient numérique du terme qui contient ces vitesses et les coefficients ordinaires de la résistance des parois, auxquels on suppose des valeurs à peu près égales à celles qu'ils ont dans le cas du régime uniforme.

M. Bazin s'est proposé de discuter les résultats de cette formule dans les divers cas que peut présenter le mouvement varié et de les comparer à ceux de l'observation.

Dans le cas du ressaut les circonstances de ce mouvement sont le plus souvent si tumultueuses, qu'il est bien difficile d'obtenir des mesures suffisamment précises de la hauteur et de la forme des remous.

La répartition des vitesses dans une même section et la résistance des parois pouvant d'ailleurs ne pas être les mêmes que dans le mouvement uniforme, on conçoit combien il est difficile d'une part à la théorie et de l'autre à l'expérience de démêler et d'établir la véritable loi de semblables phénomènes.

Quoi qu'il en soit, cette partie des recherches de M. Bazin, en fournissant de nouveaux éléments d'observation recueillis avec le plus grand soin, ne peut que contribuer à jeter du jour sur cette délicate partie de la question du mouvement de l'eau dans les canaux.

En résumé, l'on voit, par l'analyse détaillée que nous avons faite du Mémoire de M. Bazin, que la nature des parois exerce sur la valeur de la résistance qu'elles opposent au mouvement de l'eau une influence qu'il n'est pas permis de négliger, comme l'ont fait Prony, Eytelwein et tous les hydrauliciens qui ont donné des règles pratiques à ce sujet, et que cette influence varie tellement d'une paroi à une autre, qu'il n'est pas possible de

représenter par une même formule tous les cas qui peuvent se présenter dans la pratique.

Plusieurs géomètres ont cherché dans ces derniers temps, à l'aide d'hypothèses plus ou moins ingénieuses, à soumettre au calcul ces délicates questions; mais, comme ces hypothèses n'étaient qu'incomplétement conformes aux véritables circonstances du mouvement des liquides, les conséquences auxquelles l'analyse les a conduits ne se sont pas trouvées d'accord avec l'observation, même dans le cas du mouvement uniforme.

La solution de cette importante question échappe donc, comme tant d'autres de physique mécanique, à l'analyse mathématique. L'ingénieur, qui a cependant besoin de règles pour se guider dans les applications, est ainsi forcé de recourir à l'observation et de se contenter des formules empiriques qui en représentent les résultats. Sans doute cette manière de résoudre des questions d'un si grand intérêt n'a pas l'éclat de solutions déduites de théories scientifiques basées sur des considérations plus ou moins ingénieuses, mais trop souvent aussi sur des hypothèses peu conformes aux faits naturels. Les ingénieurs qui, comme M. Darcy, M. Bazin et d'autres, se vouent avec une persévérance poussée jusqu'à la perte de la santé et de la vie, n'en méritent pas moins la reconnaissance des amis de la science.

En poursuivant l'œuvre entamée par M. Darcy et en la complétant par une discussion aussi savante que lucide, M. Bazin n'a pas seulement fait un travail d'une grande valeur pour l'art de l'ingénieur; mû par un pieux souvenir pour la mémoire du chef qui lui avait ouvert la voie, il a largement indiqué la part due à son prédécesseur pour la conception et pour l'organisation générale de ces recherches, mais la sienne n'en reste pas moins très-considérable et ne peut manquer d'être justement appréciée par l'Académie et par le corps distingué auquel il a l'honneur d'appartenir.

En conséquence, vos Commissaires vous proposent d'accorder l'approbation de l'Académie au Mémoire de M. Bazin, et d'en ordonner l'impression dans le *Recueil des savants étrangers*, ainsi que l'envoi de ce Rapport à M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux publics.

Les conclusions de ce Rapport sont adoptées.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES

SUR

LA PROPAGATION DES ONDES.

INTRODUCTION.

Lorsqu'on projette subitement une petite masse d'eau sur la surface d'un canal rempli d'eau stagnante, on donne naissance à une onde ou gonflement mobile, qui se meut ensuite dans le canal avec une vitesse à peu près uniforme. J. Russell a publié, en 1845, des expériences fort intéressantes sur ce phénomène, auquel il donne le nom d'*onde de translation*.

Les propriétés de cette onde sont très-remarquables; elle ne doit pas être confondue avec les ondes d'oscillation produites par une agitation superficielle du liquide. L'exhaussement de niveau qui accompagne ces dernières est toujours suivi d'un abaissement à peu près égal, de telle sorte que l'eau oscille autour de son niveau primitif; elles marchent toujours par groupes composés d'un grand nombre

d'ondes qui se suivent; enfin leur action ne s'étend pas à une grande profondeur au-dessous de la surface. Les caractères de l'onde de translation sont tout opposés : elle est tout entière en saillie au-dessus du niveau primitif; elle marche seule (aussi J. Russell la désigne-t-il sous le nom de *solitaire*); le mouvement produit par son passage s'étend à toutes les molécules du liquide depuis la surface jusqu'au fond; elle jouit en outre de la faculté de franchir sans altération sensible de très-longs espaces. Sa vitesse de propagation est $\sqrt{g(H+h)}$, H étant la profondeur du canal et h la hauteur de l'onde.

Au lieu de donner naissance au phénomène en projetant dans le canal un petit volume d'eau, on pourrait, au contraire, produire à la surface une dépression subite, par exemple en retirant un corps qui y serait plongé. Dans ce cas, la dépression ainsi créée se propage également dans le canal, et l'on obtient une onde à laquelle on peut donner le nom d'*onde négative*, et dont la vitesse de propagation est $\sqrt{g(H-h)}$, h étant la profondeur de la dépression mobile au-dessous du niveau primitif.

Toutefois l'analogie n'est pas complète, car elle ne peut franchir d'aussi longs espaces que l'onde positive; elle ne peut en outre exister seule, et se présente toujours suivie d'un groupe d'ondes d'oscillation.

J. Russell n'avait expérimenté qu'en petit. Nous avons reproduit ses expériences en opérant sur une échelle beaucoup plus grande, et nous les avons étendues au cas où l'onde se propage dans un courant. Dans une eau stagnante, l'exactitude de la formule s'est parfaitement confirmée. Pour étendre cette formule au cas où la propagation s'opère dans un courant, il suffit d'ajouter ou de retrancher la vitesse moyenne U du courant, c'est-à-dire que l'on a

pour une onde descendant le courant $V=\sqrt{g(H+h)}+U$, et pour une onde remontant le courant $V=\sqrt{g(H+h)}-U$. Il s'agit ici d'une onde positive; si l'on considère l'onde négative, il suffit de changer le signe de h. Ce résultat, assez probable *à priori*, n'était pas cependant complétement évident. Il faut se rappeler en effet que les diverses molécules d'un courant ont des vitesses fort différentes. Cette circonstance doit certainement exercer quelque influence sur le phénomène. On remarque, du reste, que l'accord entre la formule et l'expérience n'est plus aussi complet que dans le cas d'une eau en repos, surtout lorsque la propagation a lieu en remontant le courant. L'onde de translation perd alors quelques-uns de ses caractères; elle y perd notamment l'admirable régularité de forme qu'elle possède dans une eau stagnante; elle n'est plus susceptible de franchir sans altération d'aussi longues distances, et sa hauteur diminue assez rapidement.

La marche d'une onde isolée est donc un phénomène assez bien défini dont les lois se formulent facilement; mais comment peut-on passer de ce cas si simple au phénomène complexe qui se produit lorsque les eaux d'un courant sont refoulées par celles d'un autre courant venant en sens opposé, comme les eaux d'un fleuve le sont par celles de la marée montante? On peut y parvenir en considérant successivement plusieurs cas intermédiaires dont l'étude fait, dans le Mémoire suivant, l'objet d'autant de chapitres particuliers.

Premier cas. — Un canal est rempli d'eau en repos : à l'une de ses extrémités on établit un courant permanent; l'arrivée des eaux de ce courant donne naissance à une onde qui s'allonge progressivement en s'avançant sur la surface tranquille du canal.

On peut assimiler l'onde de longueur indéfinie produite

dans ce cas à une succession continue d'ondes isolées. Si l'on désigne par h la hauteur de celle qui précède toutes les autres, la vitesse de propagation sera $V=\sqrt{g(H+h)}$. L'expérience confirme cette prévision, mais elle conduit de plus à un fait inattendu : la hauteur de cette onde initiale n'est pas la même que celle du plan d'eau qui s'établit après son passage; sa forme est en outre très-variable. Si la profondeur du canal est grande et le débit affluent relativement faible, l'onde initiale a une forme arrondie et parfaitement régulière; elle est notablement plus élevée que le plan d'eau qui la suit; si, au contraire, la profondeur du canal est petite et le débit considérable, l'onde initiale est moins élevée que toutes celles qui la suivent et déferle d'une manière continue. Il semble que, ne pouvant se mouvoir assez rapidement par suite de l'insuffisance de la profondeur, elle soit poussée par les ondes suivantes qui déversent par-dessus. L'apparition du déferlement indique donc que la profondeur du canal n'est plus assez grande pour que le transport du volume d'eau affluent puisse se faire par un simple mécanisme d'ondulation. La vitesse de propagation peut s'exprimer en fonction des données du problème; on a approximativement :

$$V=\sqrt{gH}+\frac{3}{5}u$$

u étant la vitesse qui s'établirait dans le canal s'il débitait le volume affluent, la profondeur restant égale à H (u est par conséquent le débit affluent par seconde divisé par l'aire de la section transversale du canal).

Le déferlement de l'onde initiale se produit dès que u est plus grand que $\sqrt{2gH}$.

Second cas. — Un écoulement régulier étant établi dans un canal à faible pente, on le suspend tout à coup par

l'interposition d'un obstacle : les eaux du courant, refoulées par la présence de cet obstacle, s'arrêtent de proche en proche en donnant naissance à un remous qui se propage vers l'amont. C'est l'expérience faite pour la première fois par Bidone et répétée par M. Darcy sur une plus grande échelle en 1856.

Au moment où l'on arrête l'écoulement, les eaux du courant s'élèvent contre l'obstacle qu'on leur oppose et le remous se propage ensuite vers l'amont. Après le passage de l'onde initiale, l'eau reste à peu près stagnante. Il semble que les différentes tranches du courant, à mesure qu'elles sont atteintes par le mouvement de propagation du remous, s'élèvent chacune à leur tour jusqu'au niveau du remous pour y rester ensuite dans un état de repos presque complet. La hauteur de l'onde initiale est habituellement un peu plus grande que celle du remous, dont elle forme en quelque sorte la tête; sa hauteur étant désignée par h et la vitesse moyenne du courant par U, sa vitesse de propagation est $V=\sqrt{g(H+h)}-U$. Cette vitesse V peut encore être représentée par la formule approchée

$$V=\sqrt{gH}-\frac{2}{5}U.$$

L'analogie de cette formule avec celle qui a été obtenue dans le cas précédent est évidente; elle s'en déduirait en retranchant U du second membre. L'onde initiale déferle quand U est plus grand que $\frac{1}{2}\sqrt{2gH}$.

Troisième cas. — L'écoulement étant, comme dans le cas précédent, établi dans un canal à faible pente, on projette dans ce canal les eaux d'un autre courant; un remous se forme immédiatement à la jonction des deux courants et se propage vers l'amont, comme la marée dans la partie maritime d'un fleuve. C'est sur ce dernier cas, beaucoup

plus compliqué que les deux autres, qu'ont porté les expériences commencées par M. Darcy en 1857 et reprises plus tard par nous en 1859.

Ce nouveau phénomène participe à la fois des deux précédents. En effet, l'augmentation de volume du remous pendant l'unité de temps peut être supérieure ou inférieure au volume d'eau apporté par le courant primitif. Si elle est inférieure, le remous se constitue à l'aide des eaux mêmes de ce courant qui viennent s'arrêter successivement comme elles feraient devant un obstacle solide. Si, au contraire, elle est supérieure, non-seulement la totalité des eaux du courant primitif se trouve arrêtée dans son écoulement vers l'aval, mais une partie de celles du nouveau courant se précipite avec elles vers l'amont. La vitesse de propagation est encore donnée par la formule fondamentale

$$V=\sqrt{g(H+h)}-U$$

ou par la formule approchée

$$V=\sqrt{gH}-U+\frac{3}{5}u$$

dans laquelle u désigne la vitesse qui s'établirait dans le canal s'il devait débiter le volume des eaux du remous (u est donc égal à l'augmentation du volume du remous par seconde divisée par l'aire de la section transversale du canal). Le déferlement de l'onde initiale se produira si la somme $U+u$ est supérieure à $\sqrt{2gH}$.

Les expériences dont nous venons de rapporter sommairement les principaux résultats rendent assez bien compte du mouvement des marées dans un fleuve. L'ascension continue de la marée peut en effet être assimilée à la formation successive d'ondes de translation qui se propagent les unes après les autres, en remontant le fleuve : en raison de l'exhaussement progressif du niveau, ces ondes élémen-

taires s'avancent avec des vitesses de plus en plus grandes : elles tendent donc à se rejoindre et se rejoignent en effet, ainsi que l'on peut s'en assurer en répétant l'expérience sur une petite échelle. Cette réunion successive s'opérerait assez lentement dans un canal de profondeur uniforme : mais s'il se rencontre un haut-fond qui retarde le mouvement de propagation, la réunion est très-rapide, et il se forme bientôt une onde de hauteur finie en tête du flot. Dès que cette onde est constituée, elle continue à se propager, poussée par les eaux qui viennent du large, et présente dans sa marche tous les caractères de l'onde de translation. Elle conserve, dans les parties profondes du fleuve, une figure arrondie et une grande vitesse; mais, dès qu'elle trouve un haut-fond, elle déferle d'une manière continue, en produisant alors le mascaret proprement dit. Les rapprochements auxquels conduit l'étude de ce phénomène feront l'objet du chapitre v, dans lequel nous avons fait de fréquents emprunts au mémoire de M. Partiot, sur le mascaret de la Seine, publié en 1861, dans les Annales des ponts et chaussées.

CHAPITRE PREMIER.

EXPÉRIENCES SUR LA VITESSE DE PROPAGATION DES ONDES.

1. Un mémoire de J. Scott Russell, publié en 1845[1], contient le compte rendu d'expériences fort intéressantes faites par l'auteur sur un phénomène remarquable et peu étudié jusqu'à présent, auquel il donne le nom d'*onde de translation*. Une rapide analyse de ce mémoire fera connaître en peu de mots les principaux résultats qu'il renferme. Expériences de J. Scott Russell.

« Je ne puis, dit J. Scott Russell, donner une idée plus nette « du phénomène qu'en décrivant les circonstances dans lesquelles « il m'apparut pour la première fois. J'observais le mouvement « d'un bateau que deux chevaux tiraient rapidement dans un « canal étroit, lorsque ce bateau vint à s'arrêter tout à coup; mais « il n'en fut pas de même de la masse d'eau qu'il avait mise en « mouvement dans le canal; elle s'accumula autour de la proue « dans un état de violente agitation, puis, laissant tout à coup le « bateau en arrière, se mit à cheminer en avant avec une grande « vitesse sous la forme d'une seule grande ondulation, dont la sur- « face était arrondie, lisse et parfaitement déterminée. Cette onde « continua sa marche dans le canal sans que sa forme et sa vi- « tesse parussent s'altérer en rien. Je la suivis à cheval et la re- « trouvai cheminant encore avec une vitesse de 8 à 9 milles à « l'heure et conservant sa figure initiale (environ 30 pieds de « longueur sur 1 pied à 1 $\frac{1}{2}$ pied de hauteur). La hauteur de

[1] *Report of the fourteenth meeting of the British Association for the advancement of science*, held at York in september 1844. London, 1845.

« l'onde diminuait graduellement, et après l'avoir suivie pendant « un mille ou deux, je la perdis dans les sinuosités du canal. »

J. Russell chercha à reproduire dans un canal d'expérience le phénomène dont il avait été témoin, et y réussit de plusieurs manières différentes; le procédé suivant est celui qui fait le mieux comprendre le mécanisme de la formation de l'onde. Supposons à l'extrémité du canal un espace fermé par une vanne mobile de manière à former un petit réservoir rempli d'eau à un niveau plus élevé que celui de l'eau en repos contenue dans le canal. Enlevons subitement la vanne : le liquide contenu dans le réservoir s'affaisse immédiatement, mais en s'abaissant pour revenir au niveau général du canal, il soulève une masse d'eau qui prend la forme d'une onde, et cette onde continue ensuite à cheminer dans le canal. Il est facile de s'assurer qu'il n'y a là, comme dans tous les phénomènes ondulatoires, qu'une simple transmission successive de mouvement et non transport réel de la matière qui constitue l'onde. Chacune des tranches d'eau contenues dans le canal, au moment où elle est atteinte par le mouvement de propagation, se soulève graduellement, puis redescend ensuite en passant par les mêmes positions et rentre dans le repos après avoir communiqué son mouvement à la tranche suivante.

2. L'*onde de translation* (tel est le nom que J. Russell donne à ce phénomène) peut se produire dans des circonstances fort diverses : toutes les fois qu'un certain volume d'eau momentanément soulevé au-dessus du niveau général de la masse est abandonné à lui-même, il donne naissance, en s'affaissant pour y rentrer, à une onde de translation. L'onde de translation est tout entière en saillie au-dessus du niveau de l'eau sur laquelle elle chemine; cette propriété caractéristique la distingue des ondes oscillatoires produites à la surface du liquide par l'action du vent, par le choc d'un corps solide, etc. Ces dernières sont toujours accompagnées d'une cavité correspondante, et l'exhaussement de niveau qui a lieu au moment de leur passage est suivi d'un abaissement à peu près égal, de telle sorte que la surface du

liquide oscille de part et d'autre de son niveau normal; au contraire, pendant le passage de l'onde de translation, la surface de l'eau ne s'abaisse jamais au-dessous de son niveau primitif. Les ondes oscillatoires sont toujours réunies par groupes; l'onde de translation chemine seule; aussi J. Russell lui applique-t-il la dénomination d'*unique* ou *solitaire* (solitary wave). Elle est susceptible de franchir, avant de disparaître, des espaces très-considérables. On peut en juger par les chiffres suivants : une onde de 6 pouces de hauteur n'a diminué que d'un pouce dans un parcours de 700 pieds : une autre onde de 6 pouces de hauteur avait encore une hauteur de 2 pouces après avoir franchi 3,200 pieds.

3. J. Russell a conclu de ses expériences que la vitesse de l'onde est donnée par la formule Vitesse de l'onde.

$$V=\sqrt{g(H+h)}$$

dans laquelle g désigne comme d'habitude la constante $9^{m},81$, h la hauteur de l'onde au-dessus du niveau de l'eau, et H la profondeur de la masse d'eau sur laquelle elle se propage : cette formule avait déjà été donnée par Lagrange dans sa Mécanique analytique, pour le cas fort restreint, il est vrai, d'une onde très-petite cheminant dans un canal horizontal.

4. Nous avons dit que l'on crée l'onde de translation en ajoutant subitement un certain volume d'eau à l'extrémité du canal. Si on fait l'opération inverse, c'est-à-dire si l'on crée subitement un vide ou une dépression dans la surface liquide (par exemple en retirant un corps qui y serait plongé), on produit un nouveau phénomène fort curieux, auquel on peut donner le nom d'*onde de translation négative*. La cavité produite à l'origine du canal se propage comme le fait dans l'autre cas l'onde saillante ou positive. Sa vitesse est donnée par la formule Ondes négatives.

$$V=\sqrt{g(H-h)}$$

qui n'est autre chose que la formule précédente dans laquelle on suppose h négatif.

Phénomènes secondaires qui accompagnent souvent l'onde de translation.

5. Le phénomène si simple et si bien défini dont nous venons d'indiquer les lois fondamentales se présente souvent sous une forme en apparence plus complexe. « Lorsque le volume de l'eau « ajoutée à l'origine du canal est trop considérable, dit J. Rus- « sell, l'onde prendra néanmoins sa forme ordinaire et chemi- « nera ensuite avec sa vitesse et son volume normal; elle se dé- « barrassera de la matière en excès qui l'accompagne en la laissant « derrière elle, et cette *onde résidu* (residuary wave) la suivra, mais « avec une vitesse moindre, de telle sorte que les deux ondes, bien « qu'unies au début, se séparent bientôt après et s'écartent de plus « en plus à mesure qu'elles cheminent... L'existence d'une éléva- « tion mobile de forme et de grandeur arbitraire sur la surface « de l'eau ne suffit donc pas pour qu'elle puisse être considérée « comme une onde de translation. Si par quelque procédé l'on « donne une existence forcée à un système de cette nature, il ne « tardera pas à se décomposer et à se résoudre en une série « d'ondes distinctes, qui ne chemineront pas ensemble mais sépa- « rément, chacune d'elles poursuivant sa marche avec sa vitesse « propre. »

Dans certains cas, quelques-unes de ces *ondes résidus* provenant de la décomposition de la masse d'eau primitivement mise en mouvement peuvent être négatives; enfin les ondes de translation sont très-souvent suivies par des ondes oscillatoires provenant de l'agitation communiquée au liquide.

Expériences nouvelles en 1859.

6. La discussion des premières expériences faites en 1857 sur la propagation des remous par M. Darcy et de celles qui ont été exécutées postérieurement nous a conduit, ainsi que nous l'expliquerons plus loin, à soupçonner une connexion intime entre ces phénomènes complexes et la loi si simple trouvée par J. Russell. Mais les recherches de cet habile expérimentateur n'avaient été faites que sur une très-petite échelle et dans de l'eau en repos. Nous résolûmes donc, en 1859, de les reprendre en opérant sur des profondeurs et des volumes d'eau plus considérables, et de les étendre au cas où l'onde se propage dans une eau courante.

On a à examiner trois cas différents :

1° Ondes se propageant dans une eau tranquille;
2° Ondes se propageant en sens contraire du courant;
3° Ondes se propageant dans le sens du courant.

Nous allons rapporter successivement les expériences faites pour chacun de ces cas.

1° ONDES SE PROPAGEANT DANS UNE EAU TRANQUILLE.

Procédés d'expérimentation.

7. Les expériences de J. Russell avaient été faites en petit, car deux seulement d'entre elles se rapportent à des profondeurs supérieures à 8 pouces ($0^m,20$); nous avons donc cherché dans les expériences spéciales de 1859 à opérer sur les plus grandes profondeurs que la disposition des lieux permettait d'obtenir, et à faire parcourir aux ondes le plus d'espace possible. Ces expériences ont eu lieu dans la rigole construite en 1855 par M. Darcy pour ses recherches sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts. (Voir pour la description de cette rigole l'ouvrage spécial qui renferme les résultats de ces recherches, première partie, chapitre I.) Elle se composait : 1° d'une première partie de 450 mètres de longueur, établie parallèlement au canal de Bourgogne; 2° d'une seconde partie, moins longue, qui conduisait les eaux à la rivière d'Ouche. (Voir pl. I, fig. 1 et 2.) Deux vannages de prise d'eau étaient établis, l'un à l'extrémité amont de la rigole, l'autre à 432 mètres plus bas, au point où elle quittait le canal pour se diriger vers la rivière. C'est entre ces deux vannages qu'ont été faites les expériences sur la propagation des ondes. A 18 mètres en aval du deuxième était établi un barrage qui retenait l'eau à la hauteur voulue et permettait d'obtenir une nappe d'eau stagnante d'une assez grande longueur. Pour produire des ondes il fallait projeter subitement sur cette nappe un certain volume d'eau : on essaya d'abord d'y parvenir en ouvrant et fermant subitement le deuxième vannage dont nous avons parlé plus

haut. (Ce vannage se composait d'une seule vanne de 1 mètre de largeur sur $0^m,40$ de hauteur dont les bords étaient garnis de tôle; voir pl. I, fig. 3 et 4.) Mais les ondes ainsi obtenues étaient peu accusées, parce que la vanne, manœuvrée suivant le système ordinaire, c'est-à-dire à l'aide d'un cric et d'une manivelle, ne pouvait s'ouvrir assez rapidement. Afin de remédier à cet inconvénient, nous établîmes sur toute la face aval du châssis de la vanne un appareil en fer composé de trois clapets, que l'on pouvait ouvrir subitement à l'aide d'une corde. (Voir pl. I, fig. 5 et 6.) Chacun de ces clapets était rectangulaire et avait $0^m,30$ de largeur sur $0^m,40$ de hauteur. Ils étaient mobiles autour d'un axe horizontal et retenus par une sorte de loquet ou détente. Pour se servir de cet appareil, on commençait par lever complétement la vanne placée en arrière; les clapets et leur châssis formant une double fermeture, il ne s'écoulait pas d'eau, ou du moins il ne s'en échappait que très-peu, puis, à un signal donné, on tirait brusquement les cordes servant à la manœuvre des clapets et l'écoulement s'établissait instantanément; on le laissait continuer pendant quelques secondes, puis on l'arrêtait en faisant redescendre aussi rapidement que possible la grande vanne. On opérait suivant les cas avec un, deux ou trois clapets; chacun d'eux débitait $0^{mc},276$ environ par seconde.

8. Il nous reste encore à faire connaître les procédés employés pour mesurer la vitesse et la hauteur de l'onde. Avant de commencer l'expérience, lorsque la nappe d'eau était parfaitement tranquille, on plaçait de distance en distance, à peu près de 20 mètres en 20 mètres, des règles en bois divisées en centimètres. Ces règles étaient fixées par des vis de pression à des traverses en bois (pl. I, fig. 7 et 8); on les plaçait de manière que leur extrémité inférieure, terminée en biseau, vînt affleurer exactement la surface de l'eau. Au moment du passage de l'onde la règle se trouvait donc noyée sur une certaine hauteur, et un observateur pouvait lire sur la graduation le chiffre indiquant la hauteur de l'onde au-dessus du plan d'eau primitif. Ces points

d'observation étaient au nombre de treize, espacés de la manière suivante. (Voir pl. II, fig. 1.)

NUMÉROS des points d'observation.	DISTANCE DE CHAQUE POINT à l'origine de la rigole.	DISTANCE DE CHAQUE POINT à la prise d'eau à l'aide de laquelle on produisait l'onde.	DISTANCES comprises entre les points d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.
1	400,19	31,81	
			20,69
2	379,50	52,50	
			19,76
3	359,74	72,26	
			20,14
4	339,60	92,40	
			20,35
5	319,25	112,75	
			19,05
6	300,20	131,80	
			20,30
7	279,90	152,10	
			19,81
8	260,09	171,91	
			20,46
9	239,63	192,37	
			19,63
10	220,00	212,00	
			20,00
11	200,00	232,00	
			20,00
12	180,00	252,00	
			20,00
13	160,00	272,00	

L'onde parcourait, avant d'être observée, un espace de près de 32 mètres; cette précaution était nécessaire pour calmer l'agitation tumultueuse que produisait la chute de l'eau tirée de la vanne dans une masse en repos. Pour déterminer la vitesse, on notait, à l'aide d'un compteur à secondes à pointage, l'instant précis où la crête supérieure de l'onde, qui était ordinairement très-bien accusée, passait devant chacun des points d'observation.

9. Les résultats de onze expériences faites de cette manière sont réunis dans les tableaux suivants :

SÉRIE N° 1.

(23, 24 et 25 mai 1859.)

ONDES POSITIVES SE PROPAGEANT DANS UNE EAU TRANQUILLE.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR d'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR de l'onde.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après l'expérience.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après le calcul.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 1.				
1	0,682	0,12			0	0	
			2,652	2,756			
2	0,658	0,09			7",8	7",5	
			2,707	2,675			
3	0,622	0,09			15",1	14",9	
			2,517	2,617			
4	0,595	0,09			23",1	22",6	
			2,643	2,573			
5	0,565	0,10			30",8	30",5	
			2,646	2,532			
6	0,533	0,11			38",0	38",0	
			2,537	2,478			
7	0,500	0,11			46",0	46",2	
			2,476	2,418			
8	0,473	0,11			54",0	54",4	
			2,379	2,371			
9	0,444	0,12			62",6	63",0	
			2,394	2,317			
10	0,411	0,12			70",8	71",5	
			2,299	2,314			
11	0,441	0,12			79",5	80",1	
			2,273	2,249			
12	0,342	0,13			88",3	89",0	
			2,041	2,072			
13	0,245	0,16			98",1	98",7	L'onde n'a déferlé qu'un peu au delà du point d'observation n° 13.
			EXPÉRIENCE N° 2.				
1	0,633	0,12			0	0	
			2,687	2,714			
2	0,609	0,14			7",7	7",6	
			2,635	2,695			
3	0,573	0,16			15",2	14",9	
			2,877	2,684			
4	0,546	0,19			22",2	22",4	
			2,452	2,660			
5	0,516	0,19			30",5	30",1	
			2,323	2,601			
6	0,484	0,19			38",7	37",4	
			2,743	2,539			
7	0,451	0,19			46",1	45",4	
			2,331	2,480			
8	0,424	0,19			54",6	53",4	
			2,436	2,424			
9	0,395	0,19			63",0	61",9	
			2,309	2,361			
10	0,362	0,19			71",5	70",2	
			2,273	2,337			
11	0,392	0,17			80",3	78",7	
			2,273	2,262			
12	0,293	0,19			89",1	87",6	L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 12 et 13.
			2,174	1,955			
13	0,196	0,11			98",3	97",8	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR d'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR de l'onde.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après l'expérience.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après le calcul.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 3.				
1	0,628	0,15			0	0	
			2,834	2,758			
2	0,604	0,17			7",3	7",5	
			2,707	2,741			
3	0,568	0,19			14",6	14",7	
			2,797	2,711			
4	0,541	0,20			21",8	22",1	
			2,643	2,687			
5	0,511	0,22			29",5	29",7	
			2,801	2,648			
6	0,479	0,22			36",3	36",9	
			2,570	2,596			
7	0,446	0,23			44",2	44",7	
			2,607	2,558			
8	0,419	0,24			51",8	52",5	
			2,557	2,514			
9	0,390	0,24			59",8	60",6	
			2,485	2,463			
10	0,357	0,25			67",7	68",6	
			2,500	2,450			
11	0,387	0,23			75",7	76",7	
			2,299	2,357			
12	0,288	0,23			84",4	85",2	L'onde a déferlé un peu au delà du point d'observation n° 12.
			EXPÉRIENCE N° 4.				
1	0,514	0,12			0	0	
			2,554	2,490			
2	0,490	0,14			8",1	8",3	
			2,325	2,460			
3	0,454	0,15			16",6	16",3	
			2,398	2,416			
4	0,427	0,16			25",0	24",7	
			2,339	2,368			
5	0,397	0,16			33",7	33",3	
			2,352	2,314			
6	0,365	0,17			41",8	41",5	
			2,183	2,244			
7	0,332	0,16			51",1	50",6	
			2,201	2,166			
8	0,305	0,16			60",1	59",7	
			2,067	2,113			
9	0,276	0,17			70",0	69",4	
			2,024	2,064			
10	0,243	0,18			79",7	78",9	
			1,942	2,049			
11	0,273	0,16			90",0	88",6	
			1,923	1,936			
12	0,174	0,16			100",4	99",0	L'onde a déferlé en arrivant au point d'observation n° 12.
			1,470	1,506			
13	0,077	0,0-			114",0	112",3	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR d'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR de l'onde.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après l'expérience.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après le calcul.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 5.				
1	0,483	0,10			0	0	
2	0,459	0,10	2,406	2,366	8",6	8",7	
3	0,423	0,10	2,352	2,303	17",0	17",3	
4	0,396	0,11	2,263	2,246	25",9	26",3	
5	0,366	0,13	2,165	2,217	35",3	35",5	
6	0,334	0,14	2,190	2,181	44",0	44",2	
7	0,301	0,14	2,030	2,118	54",0	53",8	
8	0,274	0,13	1,905	2,035	64",4	63",5	
9	0,245	0,14	2,046	1,967	74",4	73",9	
10	0,212	0,15	1,852	1,913	85",0	84",2	
11	0,242	0,13	1,835	1,897	95",9	94",7	
12	0,143	0,09	1,739	1,710	107",4	106",4	L'onde a déferlé un peu au delà du point d'observation n° 12.
13	0,046	0,05	1,205	1,240	124",0	122",5	
			EXPÉRIENCE N° 6.				
1	0,447	0,15			0	0	
2	0,423	0,20	2,586	2,445	8",0	8",5	
3	0,387	0,24	2,410	2,476	16",2	16",4	
4	0,360	0,25	2,426	2,463	24",5	24",6	
5	0,330	0,22	2,452	2,384	32",8	33",1	L'onde a presque constamment déferlé à partir du point d'observation n° 5.
6	0,298	0,19	2,268	2,255	41",2	41",6	
7	0,265	0,18	2,137	2,138	50",7	51",1	
8	0,238	0,15	2,107	2,020	60",1	60",9	
6	0,209	0,14	1,894	1,900	70",9	71",6	
10	0,176	0,14	1,818	1,805	81",7	82",5	
11	0,206	0,13	1,802	1,788	92",8	93",7	
12	0,107	0,10	1,681	1,619	104",7	106",0	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR d'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR de l'onde.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après l'expérience.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après le calcul.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 7.				
	0,422	0,12			0	0	
2	0,398	0,16	2,351	2,322	8",8	8",9	
3	0,362	0,20	2,352	2,343	17",2	17",3	
4	0,335	0,21	2,213	2,330	26",3	26",0	
5	0,305	0,23	2,339	2,301	35",0	34",8	
6	0,273	0,24	2,190	2,267	43",7	43",2	L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 6 et 7.
7	0,240	0,19	2,160	2,148	53",1	52",7	
8	0,213	0,16	1,887	1,983	63",6	62",7	
9	0,184	0,14	1,894	1,847	74",4	73",7	*Idem* aux environs du point d'observation n° 9.
10	0,151	0,14	1,678	1,736	86",1	85",1	
11	0,181	0,11	1,550	1,689	99",0	96",9	
12	0,082	0,08	1,639	1,475	111",2	110",5	*Idem* au delà du point d'observation n° 12.
			EXPÉRIENCE N° 8.				
1	0,415	0,15			0	0	
2	0,391	0,17	2,378	2,350	8",7	8",8	
3	0,355	0,20	2,381	2,339	17",0	17",2	
4	0,328	0,21	2,398	2,315	25",4	25",9	
5	0,298	0,22	2,120	2,275	35",0	34",9	
6	0,266	0,20	2,241	2,196	43",5	43",6	L'onde a presque constamment déferlé à partir du point d'observation n° 6.
7	0,233	0,16	2,010	2,050	53",6	53",5	
8	0,206	0,15	1,942	1,916	63",8	63",8	
9	0,177	0,15	1,795	1,830	75",2	75",0	
10	0,144	0,11	1,650	1,684	87",1	86",6	
11	0,174	0,11	1,613	1,623	99",5	99",0	
12	0,075	0,07	1,493	1,431	112",9	112",9	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR d'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR de l'onde.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après l'expérience.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation d'après le calcul.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 9.				
1	0,365	0,16			0	0	
2	0,341	0,21	2,299	2,297	9",0	9",0	
3	0,305	0,24	2,271	2,318	17",7	17",5	L'onde a déferlé partout à partir du point d'observation n° 3.
4	0,278	0,18	2,238	2,216	26",7	26",6	
5	0,248	0,16	2,035	2,060	36",7	36",5	
6	0,216	0,16	1,944	1,960	46",5	46",2	
7	0,183	0,11	1,897	1,807	57",2	57",4	
8	0,156	0,09	1,708	1,624	68",8	69",6	
9	0,127	0,08	1,734	1,488	80",6	83",4	
10	0,094	0,10	1,650	1,401	92",5	97",4	
11	0,124	0,09	1,481	1,414	106",0	111",5	
			EXPÉRIENCE N° 10.				
1	0,307	0,12			0	0	
2	0,283	0,13	2,049	2,029	10",1	10",2	
3	0,247	0,16	2,102	2,005	19",5	20",0	
4	0,220	0,12	2,014	1,912	29",5	30",6	L'onde a déferlé partout à partir du point d'observation n° 4.
5	0,190	0,12	1,769	1,785	41",0	42",0	
6	0,158	0,11	1,732	1,682	52",0	53",3	
7	0,125	0,10	1,504	1,553	65",5	66",4	
8	0,098	0,09	1,376	1,421	79",9	80",3	
9	0,069	0,06	1,451	1,241	94",0	96",8	
10	0,036	0,04	1,155	0,994	111",0	116",6	
11	0,066	0,04	1,005	0,941	130",9	137",8	
			EXPÉRIENCE N° 11.				
1	0,195	0,11			0	0	L'onde a partout déferlé.
2	0,171	0,13	1,898	1,724	10",9	12",0	
3	0,135	0,10	1,764	1,618	22",1	24",2	
4	0,108	0,10	1,586	1,473	34",8	37",9	
5	0,078	0,08	1,433	1,336	49",0	53",1	
6	0,046	0,06	1,361	1,132	63",0	69",9	

10. Les trois premières colonnes des tableaux précédents ne nécessitent aucune observation particulière. La quatrième et la cinquième colonne indiquent la vitesse moyenne de l'onde dans chacun des douze intervalles compris entre les points d'observation. La vitesse d'après l'expérience s'obtient évidemment en divisant la longueur qui sépare deux points consécutifs par le nombre de secondes employées par l'onde à franchir cette distance. Quant à la vitesse d'après le calcul, elle a été obtenue de la manière suivante : soient H la profondeur de l'eau et h la hauteur de l'onde en un point donné; d'après la formule de J. Russell, la vitesse est,

$$V=\sqrt{g(H+h)}$$

la hauteur h reste à peu près constante dans l'intervalle de deux points d'observation consécutifs, mais il n'en est pas de même de la profondeur H (le fond du canal était réglé suivant une pente uniforme de $0^m,0015$ par mètre sur la plus grande partie de sa longueur). Nous pouvons supposer que dans l'intervalle qui sépare deux points d'observation consécutifs la somme $H+h$ varie à peu près proportionnellement à l'espace parcouru. Faisons pour abréger $H+h=y$ et proposons-nous de déterminer le temps employé par l'onde à parcourir un certain espace L. En désignant par Y et Y′ les valeurs de y correspondantes aux points de départ et d'arrivée, on a par hypothèse, en un point situé à la distance x du premier de ces deux points,

$$y=Y+\frac{Y'-Y}{L}x$$

la vitesse correspondante est

$$V=\sqrt{g\left(Y+\frac{Y'-Y}{L}x\right)}$$

et le temps employé à parcourir l'espace élémentaire dx est

$$dt=\frac{dx}{V}=\frac{dx}{\sqrt{g\left(Y+\frac{Y'-Y}{L}x\right)}}$$

Intégrant entre les limites o et L, on a, pour le temps cherché,

$$T = \frac{2L}{g(Y'-Y)}\left(\sqrt{gY'} - \sqrt{gY}\right)$$

ce qui revient à

$$T = \frac{L}{\frac{\sqrt{gY'}+\sqrt{gY}}{2}}$$

La vitesse moyenne que l'on obtient en divisant l'espace parcouru L par le temps total T est donc égale à

$$\frac{1}{2}\left(\sqrt{gY'}+\sqrt{gY}\right)$$

c'est-à-dire à la moyenne des vitesses au point d'arrivée et au point de départ. C'est d'après cette propriété fort simple qu'ont été calculés les nombres de la cinquième colonne, en déterminant, à l'aide des données, la vitesse de l'onde au moment de son passage devant chacun des points d'observation; la moyenne arithmétique des vitesses correspondantes à deux points consécutifs est la vitesse moyenne calculée dans l'intervalle qui les sépare.

Comparaison des vitesses observées et des vitesses calculées.

11. En comparant les résultats du calcul et ceux de l'expérience, on voit qu'ils diffèrent peu; les écarts sont indifféremment dans un sens ou dans l'autre. Il faut d'ailleurs remarquer que la vitesse de l'onde, mesurée sur un espace de 20 mètres seulement, peut être altérée d'une manière notable par une erreur de quelques dixièmes de secondes dans l'évaluation du temps. On aura donc une appréciation plus exacte du degré d'approximation de la formule en examinant les colonnes du tableau qui donnent le temps employé par l'onde pour arriver à chacun des points d'observation; ces temps sont comptés à partir du passage de l'onde devant le point n° 1; la sixième colonne donne leur valeur expérimentale, et la septième indique en regard leur valeur d'après le calcul. Le tableau suivant, qui donne pour chaque expérience le temps total employé par l'onde à parcourir

l'espace compris entre les points extrêmes permet de faire cette comparaison d'un coup d'œil.

NUMÉROS des expériences.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE à parcourir l'espace compris entre les points d'observation extrêmes	
	d'après l'expérience.	d'après le calcul.
1	98",1	98",7
2	98",3	97",8
3	84",4	85",2
4	114",0	112",3
5	124",0	122",5
6	104",7	106",0
7	111",2	110",5
8	112",9	112",9
9	106",0	111",5
10	130",9	137",8
11	63",0	69",9

L'accord de la formule avec l'observation est aussi satisfaisant qu'on peut le désirer; les expériences n°s 9, 10 et 11 présentent seules un écart de quelques secondes, dont la cause sera expliquée plus loin.

Altération progressive de la forme de l'onde à mesure que la profondeur diminue. Déferlement.

12. La forme extérieure de l'onde variait beaucoup pendant la durée d'une même expérience. Au départ, lorsqu'elle cheminait sur une grande profondeur, elle présentait une forme allongée, à courbure très-régulière et très-lisse (pl. II, fig. 2); à mesure que la profondeur diminuait, la base de l'onde se raccourcissait, elle prenait une forme plus aiguë en s'exhaussant peu à peu; sa crête s'inclinait légèrement en avant, et enfin, lorsqu'elle ne rencontrait plus qu'une profondeur insuffisante, elle se brisait subitement; la surface parfaitement lisse et régulière qu'elle présentait un instant avant s'effaçait tout à coup et disparaissait dans un tourbillon d'écume. Le point où ce déferlement s'est produit

est indiqué dans la colonne d'observation des tableaux précédents; l'onde se brise lorsque sa hauteur s'approche de la profondeur de l'eau sur laquelle elle doit se propager. Dans les expériences en petit de J. Russell, cet observateur avait constaté que ce phénomène se produit lorsque la hauteur de l'onde devient égale à la profondeur; il paraît résulter des chiffres précédents que le déferlement a lieu plus tôt, et que l'onde ne peut se propager que dans une profondeur d'eau notablement supérieure à sa hauteur.

Lorsque l'onde s'est désagrégée en déferlant, la masse d'eau qui la constituait reforme presque immédiatement de nouvelles ondes plus petites, qui se propagent pour se briser à leur tour un peu plus loin, lorsque la profondeur vient de nouveau à manquer.

13. Nous avons remarqué plus haut, dans les expériences n°s 9, 10 et 11, une différence de 5 à 6 secondes entre les résultats du calcul et ceux de l'observation. En se reportant aux tableaux, on voit que cet écart ne se produit qu'après le déferlement. Dans l'expérience n° 11, où l'onde a déferlé d'une manière continue sur tout le parcours, l'écart a lieu dès l'origine et finit par s'élever au dixième du temps total. La formule fournit donc des vitesses un peu trop faibles lorsque l'onde déferle. Cette circonstance peut s'expliquer ainsi : l'onde était produite par une certaine masse d'eau brusquement projetée à l'une des extrémités du canal; dans de semblables circonstances il est impossible d'obtenir une onde unique; on en obtient un certain nombre qui se propagent en même temps. On n'a tenu compte dans les observations que de la première de toutes, qui était la plus élevée. Tant qu'il n'y a pas déferlement, elle chemine en avant comme si elle était seule, et sa vitesse concorde parfaitement avec la formule. Que se passe-t-il, au contraire, au moment du déferlement? La masse fluide qui constituait l'onde se décompose; une partie reste mêlée à l'eau contenue dans le canal, l'autre reforme immédiatement de petites ondes qui continueraient à se propager sans obstacle si celle dont la destruction leur a donné naissance était isolée; mais, à peine formées, elles sont dépassées et entraînées

par une nouvelle onde qui vient se briser à son tour un peu plus loin que la première en manifestant nettement son arrivée par l'accélération subite que paraît éprouver le mouvement de propagation général. On n'a donc plus ici un phénomène aussi simple que dans le premier cas. Les ondes qui dans les parties profondes du canal se suivaient sans s'influencer viennent se briser successivement; chacune d'elles se propage sur les restes de celles qui se sont brisées avant elle et s'avance un peu plus loin dans le canal que celle qui la précédait immédiatement. Ce n'est donc plus dans ce cas la marche d'une onde unique que l'on observe, mais bien, au contraire, l'arrivée successive d'ondes différentes qui viennent se briser dans une eau agitée. On ne peut plus s'attendre, dès lors, à trouver un accord complet entre les résultats de l'expérience et ceux de la formule, qui donne nécessairement pour la vitesse des valeurs trop petites.

Procédés d'observation employés pour les ondes négatives.

14. Considérons maintenant les ondes négatives : elles sont beaucoup plus difficiles à observer que les ondes positives, et ne s'aperçoivent pas d'une manière bien distincte à la surface de l'eau. Il n'a pas été possible de noter exactement l'instant de leur passage et leur amplitude à chacun des treize points d'observation, et l'on a dû recourir à un procédé particulier, en se bornant à deux points placés à 100 mètres l'un de l'autre. (Voir pl. II, fig. 1.) En chacun de ces points on installa un flotteur à cadran (pl. I, fig. 7) destiné à rendre plus sensibles les moindres variations de niveau de la surface. Cet appareil consistait en un flotteur renfermé dans une chambre pratiquée à côté de la rigole et communiquant avec elle par plusieurs petites ouvertures. Ce flotteur était suspendu à une corde passant sur une poulie; un cadran indiquait, en les amplifiant, les mouvements de cette poulie. On pouvait donc, en observant attentivement l'aiguille de ce cadran, saisir le moment où commençait à se manifester l'abaissement produit par l'onde et déterminer à peu près son amplitude. L'emploi de ces appareils était indispensable pour pouvoir déterminer l'instant précis du passage des ondes;

mais ils accusaient nécessairement pour leur hauteur des chiffres un peu faibles. Il est clair, en effet, que si l'onde passe avec une grande vitesse, l'eau contenue dans la chambre du flotteur peut n'avoir pas le temps de se mettre de niveau avec celle de la rigole. Toutefois, les ouvertures qui établissaient la communication de la chambre avec la rigole n'étant pas très-petites et les ondes négatives étant toujours très-allongées, l'erreur que nous signalons a été renfermée dans des limites assez étroites. En comparant les indications des flotteurs à l'abaissement observé directement sur une règle plongée dans l'eau, on a rarement constaté une différence de plus d'un centimètre. Une erreur d'un centimètre est presque toujours sans importance dans le calcul de la vitesse; il faut remarquer du reste que l'abaissement du niveau de l'eau est fort difficile à observer sur des règles et ne peut être déterminé bien exactement.

L'onde était produite par le procédé suivant : on soulevait pendant quelques secondes la poutrelle supérieure du barrage établi à 50 mètres du premier point d'observation pour maintenir l'eau stagnante sur laquelle devait se propager l'onde; le déversement qui se produisait par-dessus le barrage, dès que la poutrelle supérieure était enlevée, suffisait pour donner naissance à une onde négative; on replaçait ensuite la poutrelle de manière à arrêter tout écoulement.

15. Les résultats de ces expériences sont renfermés dans le tableau suivant; ils présentent moins de précision que ceux de la série précédente, en raison des difficultés d'observation inhérentes à la nature du phénomène. Les vitesses calculées ont été obtenues à l'aide de la formule

$$V = \sqrt{g(H - h)}$$

H désignant toujours la profondeur de l'eau et h la hauteur de l'onde. La profondeur H étant variable, on a déterminé à l'aide de cette formule les vitesses V′ et V″ de l'onde au moment de son passage devant chacun des deux points d'observation; la moyenne $\frac{V'+V''}{2}$

a été inscrite comme vitesse calculée dans la dernière colonne du tableau.

SÉRIE N° 2.

(31 mai 1859.)

ONDES NÉGATIVES SE PROPAGEANT DANS UNE EAU TRANQUILLE.

NUMÉROS des expériences.	PROFONDEUR D'EAU avant le passage de l'onde au 1er point d'observation.	PROFONDEUR D'EAU avant le passage de l'onde au 2e point d'observation.	HAUTEUR MOYENNE de l'onde.	TEMPS employé par l'onde à franchir l'espace de 99m,56 compris entre les deux points d'observation.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.
	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.
1	0,823	0,668	0,065	38",2	2,606	2,580
2	0,705	0,550	0,040	41",6	2,393	2,395
3	0,688	0,533	0,085	42",7	2,332	2,264
4	0,631	0,476	0,020	44",0	2,263	2,281
5	0,678	0,523	0,080	44",6	2,232	2,253
6	0,534	0,379	0,050	49",2	2,023	1,988
7	0,470	0,315	0,031	53",3	1,868	1,872
8	0,462	0,307	0,029	53",6	1,857	1,856
9	0,422	0,267	0,050	56",0	1,778	1,684
10	0,417	0,262	0,044	56",3	1,768	1,687
11	0,403	0,248	0,065	60",9	1,635	1,580
12	0,403	0,248	0,046	60",9	1,635	1,639
13	0,355	0,200	0,030	64",5	1,544	1,538
14	0,326	0,171	0,039	67",2	1,482	1,408
15	0,315	0,160	0,030	67",9	1,466	1,400
16	0,278	0,123	0,022	76",5	1,301	1,290
17	0,246	0,091	0,015	84",5	1,178	1,184
18	0,234	0,079	0,015	87",4	1,139	1,129

Caractères particuliers de l'onde négative.

16. L'onde négative est beaucoup moins accusée que l'onde positive; elle est toujours immédiatement suivie de plusieurs ondulations (pl. II, fig. 3), ainsi que l'avait déjà constaté J. Russell, et ne peut jamais être obtenue isolément comme l'onde positive. Elle ne paraît pas non plus être douée de la propriété de franchir d'aussi grands espaces sans altération notable. Dans le parcours des 100 mètres compris entre les deux points d'observation elle perdait le tiers, souvent même la moitié de sa hauteur.

Expériences faites dans le canal de Bourgogne.

17. Nous allons encore rapporter deux séries d'expériences faites sur une plus grande échelle dans le canal de Bourgogne. La première a eu lieu dans l'une des tranchées du bief de partage. Dans cette tranchée, la cuvette du canal est en maçonnerie et a la forme d'un rectangle de $6^m,50$ de largeur; la profondeur de l'eau était de $2^m,40$. Le parcours des ondes a été observé sur une distance de 500 mètres; leur hauteur était très-faible et leur vitesse de propagation très-grande. Leur passage ne produisait aucun changement de niveau sensible à l'œil; pour pouvoir le saisir exactement et apprécier leur hauteur, on a placé à chaque extrémité de l'espace de 500 mètres qu'elles devaient parcourir, un des flotteurs à cadran dont nous avons déjà parlé plus haut. Un observateur placé à côté de chacun de ces appareils indiquait par un signal convenu l'instant précis du passage de l'onde. Les ondes positives étaient produites en introduisant subitement dans le bief un certain volume d'eau accumulé d'avance dans l'une des rigoles d'alimentation; elles avaient à parcourir une distance d'environ 500 mètres avant d'arriver au premier point d'observation. On produisait les ondes négatives en ouvrant pendant quelques instants les vannes de la première écluse du versant de l'Yonne; elles avaient près de 800 mètres à franchir avant d'atteindre le premier point d'observation. Avant de s'engager dans la tranchée où se faisait l'observation, les ondes traversaient un bassin d'une grande largeur où elles s'épanouissaient dans tous les sens, ce qui explique leur faible hauteur.

SÉRIE N° 3.

(19 août 1859.)

EXPÉRIENCES FAITES DANS LE BIEF DE PARTAGE DU CANAL DE BOURGOGNE.

NUMÉROS des expériences.	PROFONDEUR MOYENNE du bief.	TEMPS employé par l'onde à parcourir l'espace compris entre les deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'ONDE au 1er point d'observation.	HAUTEUR DE L'ONDE au 2e point d'observation.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.
	mèt.		mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
			1° ONDES POSITIVES.			
1	2,40	99",5	0,026	0,018	5,025	4,874
2	2,40	99",3	0,005	0,005	5,035	4,857
			2° ONDES NÉGATIVES.			
3	2,40	99",2	0,010	0,010	5,040	4,842
4	2,40	99",5	0,005	0,005	5,025	4,847

L'accord entre les résultats du calcul et ceux de l'expérience est aussi satisfaisant qu'on peut le désirer, car la profondeur moyenne du bief ne saurait être déterminée qu'à dix centimètres près.

18. La seconde série d'expériences a été faite dans le bief n° 57 du versant de la Saône, en employant les mêmes procédés. La longueur de ce bief est de 1,022 mètres. Dans les premières expériences faites en mai 1859, l'un des flotteurs avait été placé à 308 mètres en aval de l'écluse supérieure et le deuxième à 590 mètres plus bas; ces expériences ont été renouvelées en juin 1860, et les flotteurs ont été placés d'une manière un peu diffé-

rente, savoir : le premier à 255 mètres de l'écluse supérieure, et le deuxième à 511 mètres plus bas (pl. II, fig. 4 et 5).

Les ondes positives étaient produites en ouvrant pendant une minute environ les vannes de l'écluse d'amont; les ondes négatives en ouvrant de même celles de l'écluse d'aval.

SÉRIE N° 4.

(14 et 16 mai 1859, 27 juin 1860.)

1° EXPÉRIENCES FAITES DANS LE BIEF N° 57 (VERSANT DE LA SAÔNE) DU CANAL DE BOURGOGNE.

NUMÉROS des expériences.	PROFONDEUR DU BIEF		HAUTEUR DE L'ONDE		TEMPS employé par l'onde à franchir l'espace compris entre les deux points d'observation.	VITESSE DE L'ONDE		OBSERVATIONS.
	sur l'axe.	moyenne.	au 1er point d'observation.	au 2e point d'observation.		d'après l'expérience.	d'après le calcul.	
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.	
1° ONDES POSITIVES.								
1	1,83	1,37	0,092	0,074	160″	3,688	3,775	Les deux flotteurs étaient à 590 mèt. l'un de l'autre.
2	1,83	1,37	0,092	"	161″	3,665	3,787	
3	1,62	1,16	0,120	"	165″	3,576	3,543	
4	1,87	1,41	0,079	0,068	129″	3,961	3,814	Les deux flotteurs étaient à 511 mèt. l'un de l'autre.
5	1,79	1,33	0,087	0,080	132″	3,871	3,724	
6	1,80	1,34	0,111	0,074	136″	3,757	3,748	
2° ONDES NÉGATIVES.								
7	1,83	1,37	0,080	"	145″	4,069	3,557	Les deux flotteurs étaient à 590 mèt. l'un de l'autre.
8	1,83	1,37	0,075	"	145″	4,069	3,564	
9	1,90	1,44	0,075	"	147″	4,014	3,659	
10	1,87	1,41	0,070	0,055	128″	3,992	3,635	Les deux flotteurs étaient à 511 mèt. l'un de l'autre.
11	1,89	1,43	0,060	0,056	129″	3,961	3,669	

19. La seconde et la troisième colonne du tableau exigent quelques explications particulières. La section transversale du canal n'était plus un rectangle comme dans les expériences précédentes; elle était à peu de chose près un trapèze de 10 mètres de largeur au plafond avec talus inclinés à 2 de base pour 1 de hauteur. Ces talus étaient adoucis à leur partie inférieure et corrodés presque verticalement au niveau habituel des eaux, comme l'indique le profil (pl. II, fig. 5), de telle sorte que la largeur du canal à la ligne d'eau, qui est de $16^m,40$ pour une profondeur sur l'axe de $1^m,60$, ne variait pas sensiblement lorsque l'eau s'élevait de $0^m,20$ à $0^m,30$ au-dessus de ce niveau. En opérant sur des canaux triangulaires, J. Russell a trouvé que, pour rendre la formule $V=\sqrt{g(H+h)}$ applicable au cas où la profondeur n'est pas la même dans toute l'étendue de la section transversale, il faut prendre pour H la profondeur moyenne de cette section, c'est-à-dire celle que l'on obtiendrait en divisant sa surface par la largeur du canal à la ligne d'eau. La troisième colonne du tableau renferme les profondeurs réduites d'après ce procédé de calcul, et la deuxième les profondeurs réelles mesurées au milieu du bief.

En comparant les vitesses déduites du calcul avec les vitesses expérimentales, on voit qu'elles s'accordent assez bien pour les ondes positives, à quelques écarts près, dans un sens ou dans l'autre; mais il n'en est plus de même pour les ondes négatives, et les résultats du calcul sont partout notablement au-dessous de ceux de l'expérience. La loi indiquée par J. Russell ne paraît donc plus applicable; du reste les résultats obtenus par cet expérimentateur pour les ondes négatives présentent, ainsi qu'il le fait remarquer lui-même, des anomalies considérables. De nouvelles expériences sur une plus grande échelle seraient nécessaires pour déterminer l'influence encore peu connue du profil transversal sur la vitesse de propagation.

20. Le mouvement des ondes positives dans le bief a présenté des circonstances assez remarquables; après l'avoir parcouru dans toute sa longueur, elles allaient frapper l'écluse placée à l'extré- **Périodicité de retour des ondes réfléchies.**

mité aval, puis, subissant une réflexion complète, elles se propageaient en sens contraire de leur direction primitive pour aller de nouveau se réfléchir à l'extrémité amont. Ce mouvement alternatif se continuait pendant longtemps, et la vitesse de l'onde restait à peu près constante, jusqu'à ce qu'elle finît par devenir insensible. La périodicité presque parfaite de ces retours successifs a surtout été marquée dans l'expérience n° 3. Le tableau suivant indique le moment du passage de l'onde devant chacun des deux flotteurs, les temps étant tous comptés à partir du premier passage.

INDICATION DES PARCOURS.	MOMENT DU PASSAGE DE L'ONDE devant le 1er flotteur.	MOMENT DU PASSAGE DE L'ONDE devant le 2e flotteur.	TEMPS employé par l'onde à parcourir l'espace compris entre les deux flotteurs.
1er parcours du bief en descendant.....	0	2′ 45″	2′ 45″
2e parcours du bief en remontant.....	6′ 41″	3′ 54″	2′ 47″
3e parcours du bief en descendant.....	9′ 28″	12′ 17″	2′ 49″
4e parcours du bief en remontant.....	16′ 20″	13′ 28″	2′ 52″
5e parcours du bief en descendant.....	19′ 8″	21′ 55″	2′ 47″
6e parcours du bief en remontant.....	25′ 58″	23′ 16″	2′ 42″
7e parcours du bief en descendant.....	28′ 42″	31′ 33″	2′ 51″

Les anomalies, peu importantes du reste, que l'on remarque dans les chiffres précédents tiennent à ce qu'il est difficile de saisir le moment précis du passage de l'onde lorsque sa hauteur devient très-petite. Le temps employé à franchir l'espace de 590 mètres compris entre les deux flotteurs a été en moyenne de 2′47″,6, ce qui correspond à une vitesse de $3^m,52$ par seconde. D'un autre côté, entre le premier et le septième passage devant le premier flotteur, l'onde a parcouru en 28′42″ six fois la longueur du bief, soit $6^m,132$, ce qui donne pour la vitesse moyenne par seconde $3^m,56$, chiffre presque égal au précédent. La réflexion de l'onde aux deux extrémités du bief ne paraît donc pas modifier sa marche d'une manière appréciable, puisque l'on obtient la même vitesse en considérant les parcours entiers du bief ou seulement ceux de l'espace compris entre les deux flotteurs.

Le temps total 28′42″ se décompose en trois intervalles à peu près égaux, pendant chacun desquels l'onde a parcouru deux fois la longueur du bief; il s'est écoulé en effet :

Entre le 1er et le 3e passage de l'onde devant le 1er flotteur...	9′28″
Entre le 3e et le 5e, *idem*.....	9′40″
Entre le 5e et le 7e, *idem*.....	9′34″

Cette périodicité régulière a été constatée également dans les cinq autres expériences; le temps écoulé entre le 1er et le 3e passage de l'onde devant le 1er flotteur a été, savoir :

Expérience n° 1, 8′55″, ce qui correspond à une vitesse moyenne de...	$3^m,821$
Expérience n° 2. 9′2″, *idem*.....	$3^m,771$
Expérience n° 4, 8′49″, *idem*.....	$3^m,864$
Expérience n° 5, 8′57″, *idem*.....	$3^m,806$
Expérience n° 6, 8′50″, *idem*.....	$3^m,857$

Il est à remarquer que les vitesses ainsi déduites de deux parcours entiers du bief se rapprochent généralement plus des vitesses calculées que celles du tableau (série n° 4) qui ont été obtenues en considérant simplement le temps employé par l'onde

à franchir une première fois l'espace compris entre les deux flotteurs.

La hauteur de l'onde allait en décroissant graduellement; elle restait néanmoins appréciable pendant longtemps. Ainsi, dans l'expérience n° 3, l'onde avait encore, après avoir parcouru huit fois la longueur du bief, $0^m,015$ de hauteur; dans l'expérience n° 1, elle avait encore $0^m,005$ de hauteur après avoir parcouru dix fois la longueur du bief.

2° ONDES SE PROPAGEANT EN SENS CONTRAIRE DU COURANT.

21. Jusqu'à présent nous n'avons considéré que des ondes se propageant dans une eau tranquille. Supposons maintenant qu'elles soient produites dans une eau courante; si toutes les parties du liquide étaient animées de vitesses parfaitement égales et parallèles, il est évident que l'onde s'y propagerait comme si toute la masse était en repos; il suffirait pour obtenir sa vitesse par rapport aux rives fixes du canal de la déterminer par la formule comme si le liquide était en repos, puis d'ajouter au chiffre ainsi obtenu ou d'en retrancher la vitesse de translation du liquide suivant que la marche de l'onde a lieu dans le sens du courant ou dans le sens contraire. Mais les choses ne se passent pas complétement ainsi : en raison des différences de vitesse et des mouvements compliqués qui existent dans l'intérieur des courants, on ne peut affirmer *à priori* que ce procédé de calcul soit exact. Il fallait pour s'en assurer recourir à des expériences spéciales.

Ces expériences ont été faites à peu près de la même manière que celle de la série n° 2, en se bornant à deux points d'observation (pl. II, fig. 1). Les ondes positives étaient produites en projetant sur le courant un certain volume d'eau à l'aide des clapets dont nous avons parlé plus haut; les ondes négatives, en soulevant pendant quelques instants la poutrelle supérieure du barrage établi en aval.

22. Examinons d'abord les résultats obtenus pour les ondes positives.

SÉRIE N° 5.

(3 juin 1859.)

ONDES POSITIVES SE PROPAGEANT EN SENS CONTRAIRE DU COURANT.

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT du COURANT par seconde.	PROFONDEUR DU COURANT au 1er point d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT au 2e point d'observation.	HAUTEUR DE L'ONDE au 1er point.	HAUTEUR DE L'ONDE au 2e point.	TEMPS employé par l'onde à franchir l'espace de 99m,56 compris entre les deux points d'observation.	VITESSE MOYENNE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE MOYENNE DE L'ONDE d'après le calcul.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt		mèt.	mèt.
1	1,236	0,574	0,479	0,220	0,130	73",4	1,356	1,428
2	1,236	0,574	0,479	0,180	0,130	74",6	1,335	1,392
3	1,030	0,518	0,424	0,300	0,150	72",0	1,383	1,493
4	1,030	0,518	0,424	0,080	0,030	90",7	1,098	1,155
5	0,824	0,610	0,492	0,045	0,055	62",0	1,605	1,665
6	0,824	0,610	0,492	0,080	0,095	57",0	1,746	1,740
7	0,824	0,610	0,492	0,125	0,125	54",5	1,827	1,813
8	0,618	0,614	0,474	0,200	0,200	47",9	2,078	2,117
9	0,618	0,614	0,474	0,130	0,150	51",0	1,952	2,007
10	0,618	0,614	0,474	0,070	0,060	54",0	1,844	1,859
11	0,411	0,432	0,308	0,050	0,040	69",4	1,435	1,437
12	0,411	0,432	0,308	0,135	0,120	61",9	1,608	1,629
13	0,411	0,432	0,308	0,155	0,160	60",7	1,640	1,696
14	0,203	0,318	0,194	0,085	0,100	73",8	1,349	1,419
15	0,203	0,318	0,194	0,165	0,160	64",3	1,548	1,596
16	0,203	0,318	0,194	0,185	0,170	63",5	1,568	1,632
17	0,203	0,318	0,194	0,185	0,180	58",7	1,696	1,647

Le parcours des ondes a été observé sur une longueur de 99m,56; elles parcouraient 62 mètres avant de parvenir au premier point d'observation; leur hauteur, qui était très-nettement

faibles. Les expériences sur les ondes négatives présentent d'ailleurs, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, quelques causes d'incertitude.

3° ONDES SE PROPAGEANT DANS LE SENS DU COURANT.

25. Les observations ont été faites, comme pour la série n° 5, dans un espace de $99^m,56$ (pl. II, fig. 1).

SÉRIE N° 7.

(6 juin 1859.)

ONDES POSITIVES SE PROPAGEANT DANS LE SENS DU COURANT.

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT DU COURANT par seconde.	PROFONDEUR DU COURANT au 1er point d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT au 2e point d'observation.	HAUTEUR MOYENNE de l'onde.	TEMPS employé par l'onde à franchir l'espace de $99^m,56$ compris entre les deux points d'observation.	VITESSE MOYENNE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE MOYENNE DE L'ONDE d'après le calcul.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.
1	1,236	0,414	0,414	0,06	27",3	3,650	3,656
2	1,236	0,414	0,414	0,06	27",1		
3	1,236	0,414	0,414	0,06	27",5		
4	1,236	0,414	0,414	0,06	27",2		
5	1,030	0,359	0,359	0,06	28",8	3,484	3,469
6	1,030	0,359	0,359	0,06	28",6		
7	1,030	0,359	0,359	0,06	28",4		
8	1,030	0,359	0,359	0,06	28",5		
9	0,824	0,317	0,317	0,08	30",1	3,286	3,279
10	0,824	0,317	0,317	0,08	30",4		
11	0,824	0,317	0,317	0,08	30",2		
12	0,824	0,317	0,317	0,08	30",5		
13	0,618	0,261	0,261	0,10	32",3	3,078	3,072
14	0,618	0,261	0,261	0,10	32",4		
15	0,411	0,198	0,198	0,09	36",4	2,737	2,724
16	0,411	0,198	0,198	0,09	36",6		
17	0,411	0,198	0,198	0,09	36",3		
18	0,411	0,198	0,198	0,09	36",2		
19	0,203	0,127	0,127	0,08	44",4	2,256	2,227
20	0,203	0,127	0,127	0,08	44",2		
21	0,203	0,127	0,127	0,08	43",8		

Les ondes positives ont été produites de la manière suivante : à 70 mètres en amont du premier point d'observation se trouvait un barrage à poutrelles retenant une certaine masse d'eau derrière lui; on soulevait pendant quelques secondes la poutrelle supérieure, le déversement qui se produisait donnait naissance à une onde qui se propageait vers l'aval avec une grande vitesse; l'instant de son passage était très-net et pouvait être noté avec précision, mais, en raison de la rapidité avec laquelle elle passait devant les observateurs, sa hauteur était difficile à apprécier autrement que par la trace humide qu'elle laissait sur les règles graduées. Les vitesses inscrites dans la dernière colonne du tableau ont été calculées à l'aide de la formule

$$V = \sqrt{g(H+h)} + U$$

elles s'accordent parfaitement avec les résultats de l'expérience.

26. Pour produire les ondes négatives, on fermait pendant quelques instants un ou plusieurs des orifices du vannage qui donnait l'eau à l'origine de la rigole. L'onde produite par cette diminution momentanée du débit avait donc à parcourir un espace de 270 mètres avant de parvenir devant le premier observateur; ces ondes étaient peu sensibles et ne pouvaient être appréciées qu'à l'aide des flotteurs (pl. II, fig. 1).

SÉRIE N° 8.

(8 juin 1859.)

ONDES NÉGATIVES SE PROPAGEANT DANS LE SENS DU COURANT.

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT DU COURANT par seconde.	PROFONDEUR DU COURANT au 1er point d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT au 2e point d'observation.	HAUTEUR MOYENNE de l'onde.	TEMPS employé par l'onde à franchir l'espace de 99m,56 compris entre les deux points d'observation.	VITESSE DE L'ONDE d'après l'expérience.	VITESSE DE L'ONDE d'après le calcul.
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.
1	1,236	0,528	0,635	0,020	29",1	3,429	3,421
2	1,236	0,528	0,635	0,020	28",8		
3	1,236	0,528	0,635	0,020	29",2		
4	1,030	0,578	0,699	0,020	30",7	3,222	3,272
5	1,030	0,578	0,699	0,018	31",2		
6	1,030	0,578	0,699	0,025	30",8		
7	1,030	0,424	0,518	0,015	31",0	3,156	3,197
8	1,030	0,424	0,518	0,035	32",1		
9	0,824	0,492	0,610	0,048	34",0	2,950	2,969
10	0,824	0,492	0,610	0,055	33",5		
11	0,824	0,362	0,466	0,045	34",3	2,907	2,895
12	0,824	0,362	0,466	0,060	34",2		
13	0,618	0,438	0,570	0,050	35",8	2,763	2,734
14	0,618	0,438	0,570	0,050	35",1		
15	0,618	0,438	0,570	0,047	37",2		
16	0,618	0,293	0,395	0,040	37",2	2,673	2,643
17	0,618	0,293	0,395	0,040	37",3		
18	0,411	0,366	0,508	0,035	40",5	2,456	2,468
19	0,411	0,366	0,508	0,038	43",1		
20	0,411	0,366	0,508	0,025	38",0		
21	0,411	0,217	0,327	0,035	44",5	2,232	2,302
22	0,411	0,217	0,327	0,038	44",7		

Les vitesses inscrites dans la dernière colonne du tableau ont été calculées à l'aide de la formule

$$V=\sqrt{g(H-h)}+U$$

27. Les résultats que nous venons d'examiner successivement peuvent être résumés en peu de mots.

Les expériences de J. Russell avaient été faites sur une très-petite échelle et seulement dans de l'eau en repos. Nous avons d'abord constaté l'exactitude de sa formule pour des profondeurs supérieures à celles sur lesquelles il avait pu opérer. Étendant ensuite les expériences au cas où l'onde se propage dans un courant, nous avons reconnu que cette formule peut être généralisée en ajoutant ou retranchant, suivant les cas, la vitesse moyenne U du courant.

La vitesse de propagation d'une onde est donnée par l'expression générale

$$V = \sqrt{g(H \pm h)} \pm U$$

en donnant à la quantité h le signe + ou le signe —, suivant que l'onde est positive ou négative, et à la quantité U le signe + ou le signe —, suivant qu'elle se propage dans le sens du courant ou en sens contraire.

Il faut seulement remarquer que cette formule donne dans certains cas des valeurs un peu trop fortes, si on l'applique à des ondes positives remontant un courant avec une faible vitesse.

CHAPITRE II.

EXPÉRIENCES SUR LA PROPAGATION DES REMOUS DANS UNE EAU EN REPOS.

Ondes d'une longueur indéfinie produites par un courant continu.

28. Dans le chapitre précédent nous avons considéré la marche d'une onde isolée produite en projetant, pendant un temps très-court, un certain volume d'eau à l'une des extrémités d'un canal. Supposons maintenant qu'au lieu de cet écoulement presque instantané on établisse à l'origine du canal un écoulement permanent qui se continue indéfiniment. L'onde, au lieu d'avoir une longueur limitée, s'allongera aussi longtemps que durera le courant qui lui donne naissance, en présentant l'aspect d'une couche d'eau mobile qui s'avancerait progressivement sur la surface du canal. En effet, substituons un moment par la pensée à l'écoulement continu qui s'opère à l'extrémité du canal un écoulement intermittent; supposons, par exemple, que le débit affluent soit d'un demi-mètre cube par seconde, et imaginons qu'au commencement de chaque seconde un volume d'un demi-mètre cube soit, dans un espace de temps inappréciable, projeté à l'extrémité du canal. L'arrivée de chacune de ces masses d'eau successives donnera naissance à une onde; toutes ces ondes se propageront à la suite les unes des autres, et, dans l'hypothèse d'une profondeur uniforme du canal, elles auront la même hauteur et la même vitesse. Le phénomène peut donc être assimilé à une succession non interrompue d'ondes dont l'ensemble présente l'aspect d'une tranche d'eau qui s'avance en glissant sur la surface du canal. Tel est, en effet, l'aspect général, ou, si l'on veut, l'esquisse du phénomène sur lequel nous avons fait, en 1859, plusieurs séries d'ex-

riences. Nous exposerons d'abord dans ce chapitre celles qui se rapportent au cas le plus simple, où l'eau du canal est en repos.

29. Ces expériences ont été exécutées en suivant à peu près les procédés employés pour l'observation des ondes isolées (voir pl. III, fig. 1). L'écoulement était produit par les trois clapets établis à la partie inférieure de la rigole. On a opéré en ouvrant successivement un, deux et trois de ces clapets. L'observation de l'onde a été faite de la manière suivante : on n'avait plus ici, comme dans le cas d'une onde isolée, à noter seulement l'instant de son passage et sa hauteur devant chaque point; il fallait en outre étudier ce qui se passait en arrière sur toute la longueur du canal, afin de connaître les modifications successives du profil de la surface. Quatre opérateurs furent placés aux points d'observation n°s 1, 4, 7 et 10 (voir chap. 1), c'est-à-dire à des distances de 60 mètres les uns des autres; ils étaient chargés de noter la hauteur initiale de l'onde au moment où elle passait devant eux; ils devaient en outre noter tous ensemble la hauteur du niveau de l'eau à un signal convenu; ce signal donné à intervalles réguliers d'une demi-minute par le son d'une corne était parfaitement entendu sur toute la longueur du canal, et les observations étaient simultanées. Un cinquième opérateur suivait en courant la marche de l'onde et observait, à l'aide d'un compteur à seconde, l'instant de son passage devant chacun des quatre points où étaient postés les autres opérateurs.

Les résultats de ces expériences sont consignés dans les trois tableaux suivants; la seconde colonne indique la profondeur d'eau avant le passage de l'onde; la troisième, la hauteur initiale de l'onde, c'est-à-dire la hauteur à laquelle elle s'élevait au moment où elle atteignait chaque point d'observation. (Cette hauteur est, comme on le verra plus loin, plus grande que celle du plan d'eau qui s'établit en arrière.) La colonne suivante indique l'instant de son passage en chaque point, le temps étant compté à partir du moment où l'eau, sortant des clapets, commençait à tomber dans le canal; ces clapets se trouvaient à 32 mètres du premier point

d'observation, devant lequel l'onde n'arrivait qu'au bout de quelques secondes; enfin les quatre dernières colonnes contiennent la hauteur de l'eau au-dessus de son niveau primitif, mesurée 30, 60, 90 et 120 secondes après le commencement de l'expérience. Chacun des clapets servant à produire l'écoulement avait $0^{m},30$ de largeur sur $0^{m},40$ de hauteur; la charge était de $0^{m},70$ sur le centre, ce qui correspond à un débit de $0^{mc},276$ par orifice. Le débit total était donc de $0^{mc},276$ pour un clapet (série n° 9), $0^{mc},552$ pour deux (série n° 10), $0^{mc},828$ pour trois (série n° 11).

SÉRIE N° 9.

(21, 22 et 23 juin 1859.)

DÉSIGNATION des points d'observation.	PROFONDEUR de l'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR initiale de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'EAU AU-DESSUS DE SON NIVEAU PRIMITIF après un intervalle de temps de 30".	de 60".	de 90".	de 120".	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
				EXPÉRIENCE N° 1.					
1	0,646	0,08	11",3	23",6	0,05	0,06	0,06	"	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,559	0,08	34",9	24",8	0	0,05	0,055	"	
7	0,464	0,08	59",7	25",3	0	0,06	0,05	"	
10	0,375	0,07	85",0		0	0	0,05	"	
				EXPÉRIENCE N° 2.					
1	0,538	0,08	12",4	25",2	0,05	0,06	0,07	"	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,451	0,10	37",6	26",7	0	0,065	0,07	"	
7	0,356	0,10	64",3	29",3	0	0	0,06	"	
10	0,267	0,10	93",6		0	0	0	"	
				EXPÉRIENCE N° 3.					
1	0,459	0,10	13",6	26",2	0,07	0,07	0,08	"	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,372	0,11	39",8	28",4	0	0,065	0,07	"	
7	0,277	0,12	68",2	32",0	0	0	0,06	"	
10	0,188	0,10	100",2		0	0	0	"	
				EXPÉRIENCE N° 4.					
1	0,419	0,09	14",4	27",6	0,05	0,06	0,07	"	
4	0,332	0,12	42",0	29",9	0	0,07	0,10	"	
7	0,237	0,10	71",9	35",4	0	0	0,10	"	Entre les points nos 7 et 10, l'onde avait une tendance au déferlement.
10	0,148	0,06	107",3		0	0	0	"	
				EXPÉRIENCE N° 5.					
1	0,364	0,12	15",4	28",5	0,06	0,07	0,08	0,09	
4	0,277	0,14	43",9	31",5	0	0,07	0,075	0,08	Entre les points d'observation nos 4 et 10, l'onde a déferlé plusieurs fois.
7	0,182	0,07	75",4	42",0	0	0	0,05	0,07	
10	0,093	0,05	117",4		0	0	0	0,06	

SÉRIE N° 10.

(21, 22 et 23 juin 1859.)

DÉSIGNATION des points d'observation.	PROFONDEUR de l'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR initiale de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'EAU AU-DESSUS DE SON NIVEAU PRIMITIF après un intervalle de temps de 30".	de 60".	de 90".	de 120".	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
				EXPÉRIENCE N° 1.					
1	0,611	0,170	11",0	22",2	0,10	0,10	0,11	"	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,524	0,180	33",2	22",8	0	0,10	0,11	"	
7	0,429	0,160	56",0	24",8	0	0,10	0,10	"	
10	0,340	0,150	80",8		0	0	0,10	"	
				EXPÉRIENCE N° 2.					
1	0,538	0,170	11",4	23",0	0,12	0,13	0,14	"	
4	0,451	0,180	34",4	24",3	0	0,115	0,13	"	
7	0,356	0,210	58",7	26",3	0	0,15	0,11	"	
10	0,267	0,110	85",0		0	0	0,11	"	L'onde a déferlé au point d'observat. n° 10.
				EXPÉRIENCE N° 3.					
1	0,466	0,220	12",0	23",4	0,12	0,14	0,15	"	
4	0,379	0,210	35",4	24",8	0	0,13	0,135	"	
7	0,284	0,170	60",2	30",4	0	0	0,20	"	L'onde a déferlé quelquefois entre les points d'observat. n°s 7 et 10.
10	0,195	0,100	90",6		0	0	0	"	
				EXPÉRIENCE N° 4.					
1	0,416	0,200	12",4	25",1	0,11	0,13	0,15	"	
4	0,329	0,200	37",5	28",3	0	0,13	0,14	"	
7	0,234	0,110	65",8	33",2	0	0	0,11	"	L'onde a déferlé constamment entre les points d'obs. n°s 7 et 10.
10	0,145	0,070	99",0		0	0	0	"	
				EXPÉRIENCE N° 5.					
1	0,362	0,270	13",2	25",8	0,14	0,16	0,17	"	
4	0,275	0,160	39",0	29",8	0	0,12	0,14	"	L'onde a déferlé constamment entre les points n°s 4 et 10.
7	0,180	0,100	68",8	35",1	0	0	0,12	"	
10	0,091	0,070	103",9		0	0	0	"	

SÉRIE N° 11.

(21, 22 et 23 juin 1859.)

DÉSIGNATION des points d'observation.	PROFONDEUR de l'eau avant le passage de l'onde.	HAUTEUR initiale de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour arriver à chacun des points d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR L'ONDE pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'EAU AU-DESSUS DE SON NIVEAU PRIMITIF après un intervalle de temps de 30".	de 60".	de 90".	de 120".	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
				EXPÉRIENCE N° 1.					
1	0,680	0,200	10",9	21",1	0,14	0,15	0,16	"	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,593	0,200	32",0	21",5	0	0,145	0,15	"	
7	0,498	0,210	53",5	23",6	0	0,12	0,14	"	
10	0,409	0,200	77",1		0	0	0,12	"	
				EXPÉRIENCE N° 2.					
1	0,526	0,200	11",7	23",1	0,17	0,18	0,20	"	
4	0,439	0,200	34",8	23",9	0	0,16	0,18	"	
7	0,344	0,200	58",7	26",3	0	0,15	0,16	"	
10	0,255	0,200	85",0		0	0	0,15	"	L'onde a déferlé au point d'observat. n° 10.
				EXPÉRIENCE N° 3.					
1	0,468	0,260	12",2	22",6	0,16	0,18	0,20	"	
4	0,381	0,270	34",8	25",2	0	0,15	0,17	"	
7	0,286	0,160	60",0	28",2	0	0	0,16	"	L'onde a déferlé constamment entre les points n°s 7 et 10.
10	0,197	0,120	88",2		0	0	0,13	"	
				EXPÉRIENCE N° 4.					
1	0,413	0,270	12",6	24",4	0,16	0,18	0,22	"	
4	0,326	0,220	37",0	26",9	0	0,16	0,185	"	L'onde a déferlé constamment entre les points n°s 4 et 10.
7	0,231	0,140	63",9	30",0	0	0	0,16	"	
10	0,142	0,090	93",9		0	0	0	"	
				EXPÉRIENCE N° 5.					
1	0,362	0,270	13",3	26",0	0,16	0,19	0,22	"	
4	0,275	0,180	39",3	28",6	0	0,16	0,18	"	L'onde a déferlé constamment entre les points n°s 4 et 10.
7	0,180	0,110	67",9	32",5	0	0	0,15	"	
10	0,091	0,100	100",4		0	0	0	"	

Nous avons dit plus haut que le phénomène peut être assimilé à une succession continue d'ondes formant par leur juxtaposition une tranche d'eau qui s'avance de proche en proche dans le canal. Bien que cette assimilation soit admissible d'une manière générale, l'observation directe fait cependant reconnaître diverses circonstances particulières que nous allons énumérer.

Caractères principaux du phénomène.

30. 1° La hauteur de la première onde est notablement supérieure à celle du plan d'eau qui la suit (pl. III, fig. 2).

Comparons, en effet, ces hauteurs pour les quinze expériences précédentes.

NUMÉROS DES SÉRIES.	NUMÉROS DES EXPÉRIENCES.	HAUTEUR MOYENNE DE L'ONDE aux deux premiers points d'observation.	HAUTEUR MOYENNE DU PLAN D'EAU mesurée aux deux premiers points d'observation quelques secondes après l'arrivée de l'onde.
		mèt.	mèt.
9	1	0,080	0,050
	2	0,090	0,055
	3	0,105	0,065
	4	0,105	0,060
	5	0,130	0,065
10	1	0,175	0,100
	2	0,175	0,115
	3	0,215	0.125
	4	0,200	0,120
	5	0,215	0,130
11	1	0,200	0,140
	2	0,200	0,165
	3	0,265	0,155
	4	0,245	0,160
	5	0,225	0,160

En faisant abstraction de quelques anomalies inévitables dans des expériences de cette nature, on voit que la hauteur de l'onde est supérieure d'environ moitié à celle de la tranche d'eau qui la suit.

31. 2° En avant de la première onde, c'est-à-dire dans la partie du canal où le mouvement de propagation n'est pas encore parvenu, on n'aperçoit dans la masse fluide aucun mouvement, aucun signe précurseur qui annonce l'arrivée de l'onde. En arrière, l'eau est animée d'une certaine vitesse dans le sens du mouvement de propagation. L'existence de ce courant est facile à concevoir. Il résulte en effet des observations de J. Russell, que, pendant le passage d'une onde, chaque molécule d'eau s'avance dans le canal d'une longueur égale à $\frac{V}{\omega}$, V étant le volume de la masse d'eau qui constitue l'onde, et ω l'aire de la section transversale du canal. Si l'on suppose que les ondes se succèdent sans interruption, il doit donc s'établir dans toute la masse un mouvement général de translation. Le niveau de l'eau en arrière de la première onde ne peut dès lors pas être complétement horizontal; on voit en effet, en examinant les observations des hauteurs successives en chaque point, qu'il présente une légère inclinaison dans le sens du mouvement. Cette inclinaison est d'autant plus prononcée que la profondeur de l'eau est plus faible et le débit plus considérable.

32. 3° La figure de la première onde varie beaucoup suivant la profondeur et suivant le débit.

Lorsque la profondeur est considérable, elle présente une forme arrondie, allongée et parfaitement régulière (pl. III, fig. 2); dans des profondeurs un peu moindres elle devient plus courte et plus aiguë au sommet; un léger bouillonnement se manifeste vers la crête, qui paraît s'incliner en avant; enfin dans de faibles profondeurs cette tendance au déferlement se prononce de plus en plus, et l'onde finit par déferler avec bruit en présentant l'aspect d'une barre d'écume (pl. III, fig. 3). Ces apparences successives se produisent avec un même débit lorsque l'on fait décroître

graduellement la hauteur de l'eau dans le canal; elles se produisent également lorsque, la profondeur restant constante, on augmente graduellement le débit. Il existe donc pour chaque profondeur un débit déterminé, au delà duquel la propagation de l'onde n'est plus possible sans déferlement. Nous allons chercher à déterminer cette limite. Calculons d'abord le temps employé par l'onde à parcourir chacun des trois intervalles de 60 mètres compris entre les points d'observation à l'aide de la formule $V=\sqrt{g(H+h)}$, dans laquelle h est la hauteur réelle de la première onde résultant des observations. La comparaison de ces temps calculés avec les résultats de l'expérience fait voir qu'ils concordent à peu de chose près tant qu'il n'y a pas déferlement; au contraire, dès que le déferlement se produit, le calcul fournit pour le temps des valeurs trop considérables et par suite des vitesses trop petites, et l'écart augmente à mesure que le déferlement se prononce davantage. Ces chiffres sont groupés dans le tableau suivant, qui indique les différences entre les temps calculés et les temps observés; ces derniers sont toujours plus courts.

DÉSIGNATION des expériences.	1er INTERVALLE.			2e INTERVALLE.			3e INTERVALLE.			OBSERVATIONS.
	Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	
SÉRIE N° 9.										
1	23″,4	23″,6	—0″,2	24″,8	24″,8	0″,0	27″,2	25″,3	1″,9	
2	25″,3	25″,2	0″,1	26″,9	26″,7	0″,2	29″,8	29″,3	0″,5	
3	26″,8	26″,2	0″,6	28″,8	28″,4	0″,4	32″,8	32″,0	0″,8	
4	27″,9	27″,6	0″,3	30″,4	29″,9	0″,5	36″,9	35″,4	1″,5	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
5	28″,8	28″,5	0″,3	33″,2	31″,5	1″,7	43″,5	42″,0	1″,5	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
SÉRIE N° 10.										
1	22″,5	22″,2	0″,3	23″,7	22″,8	0″,9	26″,1	24″,8	1″,3	
2	23″,7	23″,0	0″,7	24″,6	24″,3	0″,3	28″,0	26″,3	1″,7	
3	24″,2	23″,4	0″,8	26″,5	24″,8	1″,7	31″,5	30″,4	1″,1	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
4	25″,6	25″,1	0″,5	29″,0	28″,3	0″,7	36″,4	33″,2	3″,2	Tendance au déferlement dans le 2e intervalle; déferlement dans le 3e.
5	26″,6	25″,8	0″,8	32″,1	29″,8	2″,3	41″,1	35″,1	6″,0	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
SÉRIE N° 11.										
1	21″,2	21″,1	0″,1	22″,0	21″,5	0″,5	23″,6	23″,6	0″,0	
2	23″,4	23″,1	0″,3	24″,8	23″,9	0″,9	27″,1	26″,3	0″,8	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
3	23″,3	22″,6	0″,7	25″,8	25″,2	0″,6	31″,1	28″,2	2″,9	Tendance au déferlement dans le 2e intervalle; déferlement dans le 3e.
4	24″,7	24″,4	0″,3	28″,3	26″,9	1″,4	35″,1	30″,0	5″,1	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
5	26″,3	26″,0	0″,3	31″,4	28″,6	2″,8	39″,2	32″,5	6″,7	*Idem.*

La vitesse de la première onde est donc toujours un peu plus grande que si elle cheminait seule; toutefois la différence est assez légère tant qu'il n'y a pas déferlement, puisqu'elle ne s'élève qu'à quelques dixièmes de seconde sur 20 à 30 secondes; mais lorsqu'il y a déferlement l'écart va en augmentant d'une manière rapide.

33. Si la hauteur de la première onde n'était pas plus grande que celle de la tranche d'eau qui la suit, et si la surface de cette dernière était horizontale, on aurait évidemment, en désignant par h sa hauteur au-dessus du niveau primitif de l'eau dans le canal, V la vitesse de propagation, L la largeur du canal et Q le débit par seconde

$$VLh = Q \qquad \text{ou } h = \frac{q}{V}$$

q représentant le débit $\frac{Q}{L}$ par mètre de largeur du canal, le seul qu'il soit nécessaire de considérer; mais il n'en est pas ainsi, et la hauteur de l'onde doit être égale à $\frac{q}{V}$ multiplié par un rapport K plus grand que l'unité. Calculons la valeur de ce rapport pour chacune des expériences précédentes.

NUMÉROS des expériences.	1er INTERVALLE.			2e INTERVALLE.			3e INTERVALLE.			OBSERVATIONS.
	HAUTEUR calculée.	HAUTEUR réelle.	RAPPORT.	HAUTEUR calculée.	HAUTEUR réelle.	RAPPORT.	HAUTEUR calculée.	HAUTEUR réelle.	RAPPORT.	
	mèt.	mèt.		mèt.	mèt.		mèt.	mèt.		
					SÉRIE N° 9.					
1	0,054	0,080	1,48	0,057	0,080	1,40	0,058	0,075	1,29	
2	0,057	0,090	1,58	0,062	0,100	1,61	0,068	0,100	1,47	
3	0,060	0,105	1,75	0,066	0,115	1,74	0,074	0,110	1,49	
4	0,063	0,105	1,67	0,069	0,110	1,59	0,081	0,082	1,01	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
5	0,065	0,130	2,00	0,073	0.105	1,44	0,097	0,060	0,62	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
					SÉRIE N° 10.					
1	0,101	0,175	1,73	0,105	0,170	1,62	0,114	0,155	1,36	
2	0,105	0,175	1,67	0,112	0,195	1,74	0,121	0,160	1,32	
3	0,107	0,215	2,01	0,115	0,190	1,65	0,140	0,135	0,96	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
4	0,114	0,200	1,75	0,131	0,155	1,18	0,153	0,090	0,59	Tendance au déferlement dans le 2e intervalle; déferlement dans le 3e.
5	0,118	0,215	1,82	0,138	0,130	0,94	0,162	0,085	0,52	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
					SÉRIE N° 11.					
1	0,144	0,200	1,39	0,149	0,205	1,38	0,163	0,205	1,26	
2	0,158	0,200	1,27	0,166	0,200	1,20	0,182	0,200	1,10	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
3	0,154	0,265	1,72	0,175	0,215	1,23	0,195	0,140	0,72	Tendance au déferlement dans le 2e intervalle; déferlement dans le 3e.
4	0,167	0,245	1,47	0,187	0,180	0,96	0,207	0,115	0,56	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
5	0,186	0,225	1,21	0,198	0,145	0,73	0,225	0,105	0,47	*Idem.*

On voit que ce rapport varie d'une manière fort irrégulière; mais dès qu'il y a déferlement il devient plus petit que l'unité, et décroît à mesure que q augmente : en même temps on peut voir, en se reportant aux tableaux d'expériences, que le niveau de l'eau en arrière de l'onde s'élève assez rapidement.

34. En rapprochant toutes les remarques précédentes, on peut donc se représenter ainsi qu'il suit le fait du déferlement. Lorsque la profondeur du canal est considérable et que le débit qui afflue par l'une de ses extrémités est relativement faible, la hauteur de l'onde n'est qu'une petite fraction de la profondeur; elle se propage librement dans le canal avec une vitesse à peine supérieure à celle que lui assigne la formule de J. Russell; le plan d'eau qui s'établit derrière elle reste sensiblement horizontal; la hauteur de ce plan d'eau au-dessus du niveau primitif de l'eau dans le canal est égale à $\frac{q}{V}$; mais celle de la première onde est notablement supérieure; elle est égale, en effet, à $K\frac{q}{V}$, K étant un coefficient plus grand que l'unité et qui paraît pouvoir s'élever jusqu'à 2.

Supposons maintenant que la profondeur du canal vienne à diminuer graduellement, le débit q restant constant, la vitesse de propagation diminue également et la hauteur de la première onde augmente. Mais on sait qu'une onde de cette nature ne peut subsister qu'autant que sa hauteur est inférieure à la profondeur de l'eau sur laquelle elle se propage. Avant même d'atteindre cette limite, sa forme se modifie, devient instable, et elle manifeste une grande tendance à se briser. Par conséquent, si nous réduisons graduellement la profondeur du canal, il arrivera un moment où la première onde se brisera et ne pourra se mouvoir assez rapidement pour que le volume d'eau affluent trouve place derrière elle; la tranche d'eau qui la suit augmentera de hauteur et le coefficient K deviendra inférieur à l'unité. C'est dans ce cas que se produit le déferlement, comme si les tranches d'eau qui s'accumulent derrière la première onde déversaient constamment par-dessus en la poussant devant elles. Le phénomène qui, dans les grandes profondeurs, avait

presque complétement le caractère d'une ondulation, change donc peu à peu de nature, et lorsque la profondeur est devenue très-petite par rapport au débit, on n'a plus, au lieu d'une onde, qu'une masse d'eau qui s'avance dans un lit presque vide. La transition entre les deux ordres de faits ne s'opère pas, du reste, d'une manière brusque, et l'on peut observer sur la première onde toutes les nuances intermédiaires entre la figure régulièrement arrondie qu'elle conserve dans les grandes profondeurs et une barre d'écume dans laquelle il n'est plus possible de distinguer aucune forme stable.

Condition du déferlement.

35. Quelle est maintenant la limite de profondeur au-dessous de laquelle il doit y avoir déferlement pour un débit donné? Soit H, cette profondeur inconnue; la plus grande hauteur que puisse avoir l'onde est également H, sa vitesse de propagation sera donc $\sqrt{2gH}$. D'un autre côté, lorsque le déferlement est sur le point de commencer, la hauteur de cette première onde est sensiblement égale à $\frac{q}{V}$ ou $\frac{q}{\sqrt{2gH}}$; on a donc, lorsque le déferlement a lieu :

$$\frac{q}{\sqrt{2gH}} > H$$

Si l'on désigne maintenant par U la vitesse qui s'établirait dans le canal s'il débitait le volume q, la profondeur restant égale à H, on a :

$$U = \frac{q}{H}$$

et l'inégalité précédente peut s'écrire :

$$U > \sqrt{2gH}$$

Telle est la limite à partir de laquelle il y a nécessairement déferlement; mais en réalité ce phénomène se produit beaucoup plus tôt, parce que l'onde ne peut jamais atteindre sa limite extrême de hauteur H; dès qu'elle surpasse les $\frac{2}{3}$ de H, elle devient instable et tend à se briser.

En se reportant aux résultats immédiats des expériences, on voit que le déferlement est imminent dès que U dépasse la moitié de $\sqrt{2gH}$. Ce phénomène est beaucoup moins net du reste que dans le cas d'une onde isolée. Dans ce dernier cas, la désagrégation

subite de la masse d'eau qui constitue l'onde est accompagnée d'un bruit *sui generis*, et le changement d'aspect est tellement tranché que la distinction est très-facile à faire. Mais dans le cas qui nous occupe il n'en est pas tout à fait de même : on voit l'onde se déformer et le déferlement s'annoncer peu à peu sans qu'il soit possible d'établir une distinction précise.

Dans les séries n°s 10 et 11, où l'écoulement s'opérait en ouvrant deux ou trois clapets, le déferlement a souvent été intermittent; cette intermittence est probablement due à l'arrivée successive d'ondes secondaires provenant d'un défaut de simultanéité complète dans l'ouverture des clapets.

Calcul de la vitesse de propagation.

36. Il nous reste encore à déterminer la formule qui doit donner la vitesse de propagation V en fonction de q et de H. Si l'on désigne toujours par h la hauteur de la première onde, cette vitesse est à très-peu près, $V=\sqrt{g(H+h)}$.

D'un autre côté, on a $h=K\frac{q}{V}$

La valeur du coefficient K est assez variable et ne paraît pas susceptible d'être déterminée bien exactement; tant que l'onde ne déferle pas, on obtient une approximation suffisante en donnant à K la valeur très-simple $\frac{3}{2}$. On a donc, en substituant pour h sa valeur $\frac{3q}{2V}$,

$$V=\sqrt{g\left(H+\frac{3q}{2V}\right)}$$

d'où, en faisant disparaître le radical

$$(1) \qquad V^3-gHV=\frac{3gq}{2}$$

Si l'on fait $V=y\sqrt{gH}$, il vient,

$$(2) \qquad y^3-y=\frac{3}{2}\frac{q}{H\sqrt{gH}}$$

Cette équation du troisième degré peut facilement être résolue par tâtonnement en se servant des tables de cubes qu'on trouve dans la plupart des aide-mémoire.

Mais, lorsque $\frac{q}{H\sqrt{gH}}$ ne dépasse pas 0,70, on peut lui substituer la formule très-simple

$$(3) \qquad y=1+\frac{3}{5}\frac{q}{H\sqrt{gH}}$$

qui fournit des valeurs suffisamment approchées, ainsi qu'on peut en juger par les chiffres suivants :

VALEURS DE $\frac{q}{H\sqrt{gH}}$	VALEURS DE y	
	D'APRÈS L'ÉQUATION du 3e degré (2).	D'APRÈS LA FORMULE (3).
0,00	1,000	1,000
0,10	1,068	1,060
0,20	1,125	1,120
0,30	1,176	1,180
0,40	1,221	1,240
0,50	1,263	1,300
0,60	1,301	1,360
0,70	1,337	1,420

Pour des valeurs plus considérables, les deux formules divergent rapidement. Dans le cas où la formule (3) peut être adoptée, on a :

$$V = y\sqrt{gH} = \sqrt{gH} + \frac{3}{5}\frac{q}{H}$$

La quantité $\frac{q}{H}$ n'est autre chose que la vitesse U qui s'établirait dans le canal, s'il débitait le volume q; on a donc :

$$(4) \qquad V = \sqrt{gH} + \frac{3}{5}U$$

cette expression si simple est suffisante tant qu'il n'y a pas déferlement; mais lorsque le déferlement a lieu elle donnerait des vitesses trop grandes, et l'on doit alors recourir directement à l'équation du 3e degré : il faut seulement remarquer que, dans ce cas, l'onde initiale n'étant pas plus élevée que le plan d'eau qui la suit, on ne doit plus attribuer au coefficient K la valeur $\frac{3}{2}$; on doit faire tout au plus $K = 1$ et l'équation (2) devient :

$$(5) \qquad y^3 - y = \frac{q}{H\sqrt{gH}}$$

37. Appliquons maintenant ces formules aux expériences : les résultats du calcul sont groupés dans le tableau suivant :

DÉSIGNATION des expériences.	1er INTERVALLE. Temps calculés.	1er INTERVALLE. Temps observés.	1er INTERVALLE. Différence.	2e INTERVALLE. Temps calculés.	2e INTERVALLE. Temps observés.	2e INTERVALLE. Différence.	3e INTERVALLE. Temps calculés.	3e INTERVALLE. Temps observés.	3e INTERVALLE. Différence.	OBSERVATIONS.
SÉRIE N° 9.										
1	23",6	23",6	0	24",9	24",8	0",1	26",9	25",3	1",6	
2	25",6	25",2	0",4	27",2	26",7	0",5	29",7	29",3	0",4	
3	27",3	26",2	1",1	29",3	28",4	0",9	32",0	32",0	0	
4	28",3	27",6	0",7	30",4	29",9	0",5	*36",4	35",4	1",0	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
5	29",8	28",5	1",3	*34",4	31",5	2",9	*40",0	42",0	— 2",0	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
SÉRIE N° 10.										
1	22",9	22",2	0",7	23",8	22",8	1",0	25",2	24",8	0",4	
2	23",9	23",0	0",9	24",9	24",3	0",6	26",2	26",3	— 0",1	
3	24",9	23",4	1",5	25",8	24",8	1",0	*30",9	30",4	0",5	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
4	25",7	25",1	0",6	*29",5	28",3	1",2	*32",8	33",2	— 0",4	Tendance au déferlement dans le 2e intervalle; déferlement dans le 3e.
5	26",4	25",8	0",6	*31",3	29",8	1",5	*35",1	35",1	0	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
SÉRIE N° 11.										
1	21",0	21",1	— 0",1	21",6	21",5	0",1	22",5	23",6	— 1",1	
2	22",5	23",1	— 0",6	23",0	23",9	— 0",9	*27",4	26",3	1",1	Tendance au déferlement dans le 3e intervalle.
3	23",0	22",6	0",4	*26",5	25",2	1",3	*28",8	28",2	0",6	Tendance au déferlement dans le 2e intervalle; déferlement dans le 3e.
4	23",5	24",4	— 0",9	*27",8	26",9	0",9	*30",4	30",0	0",4	Déferlement dans le 2e et le 3e intervalle.
5	23",7	26",0	— 2",3	*29",1	28",6	0",5	*32",0	32",5	— 0",5	*Idem.*

Les valeurs inscrites dans le tableau précédent ont été calculées à l'aide de la formule approchée (4) partout où il n'y avait pas déferlement. Pour les expériences où le déferlement s'est produit d'une manière un peu prononcée, les valeurs ont été calculées à l'aide de l'équation (5). Elles sont indiquées dans le tableau précédent par le signe *. On voit que les résultats du calcul s'accordent bien avec ceux de l'expérience.

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES SUR LA PROPAGATION DU REMOUS DANS UN CANAL DONT ON ARRÊTE L'ÉCOULEMENT.

Expériences de Bidone.

38. Lorsqu'on arrête subitement l'écoulement dans un canal à faible pente, en lui opposant un obstacle quelconque, l'eau s'élève immédiatement contre l'obstacle au-dessus de son niveau primitif, et il se forme sur la surface du courant une sorte de remous ou gonflement mobile qui se propage vers l'amont. L'extrémité mobile de ce remous présente dans son mouvement de propagation l'aspect d'une brusque ondulation remontant le courant, et, tandis qu'immédiatement en amont l'écoulement se fait encore sans modification apparente, en aval, l'eau est devenue stagnante et n'a plus de mouvement de translation. Ce phénomène a été étudié en 1823 par G. Bidone dans un canal horizontal[1]; il décrit de la manière suivante les principales circonstances qui l'accompagnent :

« Si, lorsqu'un courant est établi dans un canal rectangulaire, « rectiligne et horizontal, et que toutes les sections du courant « ont la même hauteur, on empêche tout à fait l'écoulement de « l'eau en abaissant une vanne dans une section quelconque du « canal, les eaux ainsi arrêtées s'élèvent aussitôt à une certaine « hauteur contre la vanne, et forment un regonflement dont la « hauteur au-dessus du fond devient bientôt et reste ensuite sta- « tionnaire, mais dont la propagation en amont de la vanne et

[1] *Mémoires de l'Académie de Turin*, t. XXX.

« dans le sens horizontal et contraire à celui du courant, se fait « d'une manière uniforme, en vertu de laquelle le regonflement « acquiert des longueurs égales en temps égaux. Les eaux de ce « regonflement demeurent stagnantes, et leur surface supérieure « est horizontale.

« A l'endroit variable, où le regonflement, en se propageant, « rencontre successivement le courant naturel, il existe une diffé- « rence de niveau entre la surface du regonflement et la surface « du courant, celle-ci étant la moins élevée.....

« Lorsque dans une section du canal on empêche tout à fait « l'écoulement avec une vanne, et qu'après un certain temps on « lève la vanne pour permettre de nouveau l'écoulement, il se « forme, pendant le temps que la vanne reste baissée, une lame ou « un regonflement d'une longueur limitée. Ce regonflement re- « monte le canal, de manière qu'en amont et en aval de ce regon- « flement la surface de l'eau est moins élevée que celle du regon- « flement. La marche de ce regonflement limité et isolé est telle, « que la vitesse avec laquelle il remonte le canal diminue toujours, « ainsi que sa longueur et sa hauteur; en sorte qu'après un certain « temps ce regonflement limité et variable finit par disparaître « entièrement; mais avant d'être anéanti il peut parcourir des es- « paces plus ou moins longs selon sa longueur primitive et selon « les circonstances du courant et du canal.

« Si, après avoir occasionné un regonflement limité et isolé, « on en occasionne aussitôt un autre, pareillement limité et isolé, « on voit deux regonflements distincts et séparés qui remontent le « canal, mais le deuxième de ces regonflements a une plus grande « vitesse et une plus grande hauteur que le premier, en sorte que « celui-ci est attrapé par le regonflement qui le suit. Les deux « regonflements ainsi réunis marchent ensemble et n'en forment « qu'un seul, dont la hauteur est encore plus grande que celle du « deuxième regonflement. Ce regonflement unique, après quelque « temps, se partage de nouveau en deux.

« En occasionnant trois regonflements limités et successifs, le

« deuxième attrape le premier, et le troisième attrape les deux « premiers réunis, lorsque l'intervalle du temps qu'on a mis entre « la production des regonflements est tel qu'il puisse donner lieu « à cette réunion avant que les regonflements soient détruits. Il en « est de même d'un plus grand nombre de regonflements limités « et successifs.

« Lorsque le courant établi dans un canal horizontal n'a pas ses « sections identiquement égales entre elles en hauteur et en lar- « geur, la propagation du regonflement occasionné par une vanne « qui empêche tout à fait et constamment l'écoulement n'est plus « uniforme.

« Les corps flottants sur le courant, en arrivant à l'endroit de « la rencontre du courant avec le regonflement, éprouvent des « secousses violentes, et si ces corps ont la forme de bateaux ou « de radeaux, ils sont souvent renversés par le mouvement ascen- « sionnel que prennent subitement à cet endroit les eaux du cou- « rant qui les soutiennent.

« Les corps plus pesants que l'eau, roulés ou entraînés par le « courant naturel sur le fond du canal, perdent leur mouvement « de translation aussitôt qu'ils se trouvent à l'endroit où le courant « naturel et le regonflement se rencontrent. . .

« Lorsque la vanne demeure constamment baissée, les eaux du « regonflement restent stagnantes, et le mouvement avec lequel « celui-ci s'étend et remonte le canal n'est qu'apparent, ou, pour « mieux dire, c'est un mouvement de propagation; car l'augmen- « tation de la longueur du regonflement résulte uniquement de « l'addition successive et continuelle de nouvelles tranches verti- « cales d'eau amenées par le courant, lesquelles, à la rencontre « du regonflement, deviennent plus minces et plus hautes et s'ar- « rêtent.

Pareillement le mouvement d'un regonflement limité et isolé « n'est progressif qu'en apparence. . . Ce regonflement limité perd « continuellement une partie de ses eaux et de sa longueur du « côté d'aval, et en acquiert du côté d'amont; mais comme les

« eaux d'aval qui coulent ne sont pas remplacées à l'endroit même « qu'elles quittent, et les eaux qui s'ajoutent en amont occupent « une place successivement plus près de l'origine du canal et à la- « quelle le regonflement n'était pas encore parvenu, l'illusion ici « est plus complète, et il paraît vraiment que ce soient les eaux « mêmes du regonflement primitif qui, sans se renouveler et sans « changer leur position respective, se meuvent en masse et re- « montent le canal par un mouvement progressif. »

Les expériences de Bidone ont été faites sur une petite échelle : le canal horizontal en maçonnerie sur lequel il opérait n'avait que $0^m,65$ de largeur, et il n'a observé la propagation du remous que sur une longueur de 40 pieds, soit 13 mètres, à partir de la vanne dont il se servait pour intercepter l'écoulement. Empruntons du reste à son mémoire la description des procédés qu'il a employés.

« Je faisais abaisser subitement une vanne à l'extrémité du ca- « nal pour empêcher tout à fait l'écoulement et occasionner par là « le remous et le regonflement de l'eau en amont de la vanne. Ce « regonflement se forme aussitôt par rapport à sa hauteur; mais « par rapport à sa longueur il se propage plus ou moins rapide- « ment, selon les circonstances du courant. Dans tous les cas, la « hauteur à laquelle s'élevait la surface supérieure du regonfle- « ment au-dessus du fond du canal se conservait constamment la « même pendant que le remous se propageait en amont vers l'ori- « gine du canal.

« L'endroit où le regonflement rencontre successivement le cou- « rant naturel est très-visible et marqué par le ressaut ou par la « différence brusque qui existe à ce même endroit entre le niveau « du courant naturel et celui du regonflement, différence qui était « de plusieurs pouces, ainsi qu'on le verra ci-après dans les ta- « bleaux des expériences. Dans le même endroit on croit voir « deux vrais courants distincts, lesquels y arrivent par des direc- « tions opposées : l'un est le courant naturel et réel qui est dans « le canal et dont la surface a un niveau plus bas, l'autre est le

« courant apparent du regonflement, dont le niveau est plus haut « et qui paraît s'avancer contre le courant naturel auquel il est su- « perposé. Par cette circonstance, si marquée et si visible, je pou- « vais observer exactement le temps employé par le remous à se « propager sur une longueur donnée du canal depuis l'instant dans « lequel on avait baissé la vanne, c'est-à-dire le temps employé « par le regonflement à acquérir une longueur donnée.

« Après l'observation de ce temps, je prenais en plusieurs en- « droits la hauteur du regonflement au-dessus du fond du canal, « et je déterminais par là sa hauteur moyenne sur toute sa lon- « gueur.

. . . . . .

« Le fond du canal est parfaitement horizontal pour les vingt « premiers pieds, comptés depuis la vanne, en remontant le « canal.

« Au delà de ces vingt premiers pieds le fond du canal est « encore sensiblement horizontal, mais il est à un niveau tant soit « peu plus bas que celui du fond des vingt premiers pieds. La « différence que j'ai prise en nivelant le fond avec une couche d'eau « stagnante est de deux lignes »

Les résultats des expériences faites par Bidone sont renfermés dans le tableau suivant :

NUMÉROS des expériences.	DÉBIT par SECONDE.	PROFONDEUR MOYENNE du courant.		VITESSE MOYENNE du courant.		HAUTEUR MOYENNE du remous.		VITESSE MOYENNE du remous.		OBSERVATIONS.
		1re partie.	2e partie.	1re partie.	2e partie.	1re partie.	2e partie.	1re partie.	2e partie.	
	mèt. cub.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
1	0,0319	0,079	0,090	0,621	0,544	0,070	0,063	0,722	0,799	Chacun des éléments du tableau est donné pour les deux parties du canal, savoir : la première comprenant une longueur de vingt pieds ou 6m,50 à partir de la vanne ; la deuxième, une longueur égale de vingt pieds en amont de la première.
2	0,0551	0,110	0,126	0,767	0,671	0,104	0,092	0,866	0,909	
3	0,1022	0,167	0,185	0,942	0,850	0,144	0,135	1,124	1,130	
4	0,0230	0,199	0,203	0,178	0,174	0,027	0,027	1,340	1,299	
5	0,0335	0,149	0,153	0,347	0,337	0,045	0,045	1,130	1,160	
6	0,0562	0,192	0,196	0,451	0,441	0,072	0,068	1,214	1,299	

Partant de ces données, Bidone en a déduit entre les principaux éléments les relations suivantes, dans lesquelles

U désigne la vitesse moyenne du courant,

V la vitesse de propagation du remous,

H la profondeur du courant,

h la hauteur du remous au-dessus de la surface du courant primitif :

$$UH = Vh \qquad\qquad h = \frac{2H+h}{h}\frac{U^2}{2g}$$

On peut remarquer que, dans le cas où la hauteur h est négligeable devant la profondeur H, ces formules donnent $V = \sqrt{gH}$ et coïncident alors avec celle de J. Russell.

Expériences nouvelles en 1856.

39. Tels sont les résultats obtenus par Bidone. Ces expériences ont été renouvelées par M. Darcy sur une plus grande échelle en 1856. On établit dans la rigole un plancher horizontal de 152 mètres de longueur, commençant à $255^m,31$ de l'origine (pl. III, fig. 4). Pour pouvoir arrêter instantanément l'écoulement à la partie inférieure de ce canal horizontal, deux portes en chêne furent placées dans la rigole (pl. III, fig. 6 et 7); chacune d'elles était mobile autour d'un axe fixé à la paroi, de telle sorte qu'étant fermées elles interceptaient complétement la rigole. Avant l'expérience elles restaient ouvertes et accolées à la paroi à laquelle elles étaient retenues par des crochets; pour suspendre l'écoulement, il suffisait de dégager ces crochets. Le courant entraînait immédiatement les portes et les fermait avec violence, de manière à arrêter complétement l'écoulement.

Dès que les portes étaient fermées, l'eau s'élevait subitement contre elles, et le remous commençait à se propager vers l'amont. La partie antérieure de ce remous présentait l'aspect d'une onde à surface arrondie; elle était suivie de plusieurs grandes ondulations qui communiquaient à l'eau une violente agitation pendant quelques secondes (pl. III, fig. 5).

Après le passage de ces ondulations, la surface de l'eau se calmait et devenait à peu près stagnante.

La propagation du remous présentait sensiblement les mêmes caractères sur toute la longueur du canal horizontal, mais lorsqu'il avait dépassé l'origine du plancher horizontal, la partie supérieure de la rigole ayant une pente de $0^m,002$ par mètre, il rencontrait un courant plus rapide et moins profond, et le phénomène se modifiait. La première onde qui formait la tête du remous perdait graduellement sa forme arrondie; elle devenait de plus en plus aiguë et finissait par déferler avec bruit en arrivant dans la partie où le fond de la rigole présentait une pente de $0^m,005$ par mètre.

40. L'expérience a été faite en employant à peu de chose près les procédés déjà décrits dans les chapitres I et II. On a noté la hauteur de la première onde du remous et l'instant de son passage devant chacun des points d'observation espacés de 20 mètres en 20 mètres. Un observateur spécial était en outre chargé de noter en chacun de ces points la hauteur à laquelle s'arrêtait le niveau de l'eau quelques secondes après le passage de la première ondulation.

On a pu constater ainsi un fait important, qui paraît avoir échappé à Bidone. La hauteur de la première ondulation, de même que dans les expériences qui font l'objet du précédent chapitre, surpasse celle du plan d'eau qui s'établit derrière elle lorsque l'agitation tumultueuse qui accompagne l'arrivée du remous est à peu près calmée. A partir de ce moment, l'eau se maintient à un niveau presque constant pendant tout le temps que le remous se propage sur le canal horizontal. En effet, on a observé en un point, situé à peu près à égale distance des points d'observation n°s 2 et 3, la hauteur de l'eau à intervalles réguliers de 20 secondes à partir du passage du remous. Ces hauteurs augmentent très-lentement.

HAUTEURS DE L'EAU AU-DESSUS DU NIVEAU PRIMITIF DU COURANT,

MESURÉES ENTRE LES POINTS D'OBSERVATION N°s 2 ET 3.

DÉSIGNATIONS.	EXPÉRIENCE n° 1.	EXPÉRIENCE n° 3.	EXPÉRIENCE n° 5.	EXPÉRIENCE n° 7.	EXPÉRIENCE n° 9.	EXPÉRIENCE n° 11.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Hauteur mesurée 20" après le passage de l'onde....	0,050	0,120	0,160	0,200	0,240	0,260
Hauteur mesurée 40" après le passage de l'onde....	0,060	0,115	0,165	0,210	0,255	0,265
Hauteur mesurée 60" après le passage de l'onde....	0,065	0,115	0,170	0,220	0,260	0,270
Hauteur mesurée 80" après le passage de l'onde....	0,065	0,125	0,180	0,230	0,260	0,280
Hauteur mesurée 100" après le passage de l'onde....	0,065	0,130	0,190	0,235	0,268	0,283
Hauteur mesurée 120" après le passage de l'onde....	0,068	0,130	0,195	0,240	0,285	0,290

Le remous n'ayant employé que 60 à 80 secondes pour parcourir toute la longueur du canal horizontal, on voit que le niveau de l'eau stagnante qu'il laissait derrière lui restait presque constant.

41. Tels sont les caractères généraux des expériences faites en 1856 par M. Darcy sur la propagation du remous. Les résultats de ces expériences sont rapportés en détail dans les tableaux suivants. La troisième colonne indique la hauteur initiale du remous, la quatrième sa hauteur dix secondes après, la cinquième l'instant du passage du remous devant chacun des points d'observation; les temps sont comptés à partir de son passage devant le point n° 2, en laissant de côté le point n° 1, qui n'était qu'à sept mètres des portes; cette distance était trop petite pour que le phénomène pût s'y opérer avec toute sa régularité. L'indication des temps ne renferme pas de fractions de seconde; on n'a

pu disposer pour ces expériences, comme on l'a fait pour toutes les expériences postérieures, d'un compteur à pointage; l'observateur chargé de noter le temps, ne pouvant le marquer sur le cadran même du compteur, qui n'était pas muni d'un mécanisme de pointage, était obligé de lire à haute voix le nombre de secondes qu'indiquait l'instrument au moment de l'arrivée du remous; un aide le suivait et consignait immédiatement ces indications par écrit. On comprend que cette manière d'opérer comporte des erreurs accidentelles qui peuvent s'élever à près d'une seconde. Ces erreurs ont d'ailleurs peu d'importance, parce qu'elles ne s'ajoutent pas entre elles, le temps étant toujours compté à partir du même point de départ.

SÉRIE N° 12.

(27 et 28 octobre 1856.)

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
		EXPÉRIENCE N° 1.		
		Débit du courant : $0^{mc},203$.		
1	0,264	0,05	0,06	"
2	0,270	0,09	0,05	0
3	0,286	0,06	0,06	13"
4	0,294	0,06	0,05	27"
5	0,285	0,06	0,04	40"
6	0,294	0,06	0,04	53"
7	0,305	0,05	0,04	66"
8	0,290	0,05	0,04	79"
9	0,278	0,05	0,04	93"
10	0,240	0,05	0,05	108"
11	0,237	0,05	0,03	124"
12	0,089	0,10	0,08	"

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
		EXPÉRIENCE N° 2.		
		Débit du courant : $0^{mc},307$.		
1	0,302	0,13	0,08	"
2	0,313	0,13	0,08	0
3	0,328	0,11	0,07	13"
4	0,337	0,10	0,09	26"
5	0,347	0,10	0,07	38"
6	0,337	0,09	0,07	50"
7	0,348	0,09	0,07	63"
8	0,346	0,08	0,06	75"
9	0,323	0,09	0,08	88"
10	0,294	0,09	0,08	100"
11	0,257	0,10	0,10	115"
12	0,109	0,14	0,14	"
		EXPÉRIENCE N° 3.		
		Débit du courant : $0^{mc},411$.		
1	0,337	0,13	0,12	"
2	0,347	0,15	0,11	0
3	0,366	0,12	0,09	13"
4	0,380	0,12	0,10	25"
5	0,385	0,12	0,09	38"
6	0,382	0,11	0,10	49"
7	0,400	0,11	0,09	60"
8	0,400	0,11	0,07	72"
9	0,383	0,11	0,07	83"
10	0,345	0,14	0,08	95"
11	0,310	0,15	0,12	109"
12	0,138	0,14	0,16	"

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
		EXPÉRIENCE N° 4. Débit du courant : $0^{mc},515$.		
1	0,373	0,25	0,15	"
2	0,380	0,26	0,14	0
3	0,399	0,20	0,13	12"
4	0,410	0,20	0,13	22"
5	0,427	0,17	0,13	33"
6	0,416	0,17	0,13	43"
7	0,435	0,18	0,14	54"
8	0,441	0,16	0,14	65"
9	0,415	0,16	0,12	76"
10	0,379	0,17	0,17	87"
11	0,347	0,19	0,18	100"
12	0,153	0,19	0,20	"
		EXPÉRIENCE N° 5. Débit du courant : $0^{mc},618$.		
1	0,407	0,25	0,20	"
2	0,416	0,26	0,15	0
3	0,441	0,24	0,16	10"
4	0,451	0,22	0,15	20"
5	0,463	0,21	0,14	31"
6	0,460	0,21	0,15	42"
7	0,487	0,20	0,15	52"
8	0,479	0,18	0,13	62"
9	0,455	0,18	0,12	73"
10	0,427	0,20	0,16	85"
11	0,383	0,21	0,15	97"
12	0,177	0,20	0,30	"

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
		EXPÉRIENCE N° 6. Débit du courant : $0^{mc},721$.		
1	0,435	0,32	0,20	"
2	0,446	0,33	0,18	0
3	0,470	0,25	0,20	11"
4	0,485	0,25	0,19	21"
5	0,496	0,25	0,17	32"
6	0,495	0,25	0,16	41"
7	0,520	0,23	0,18	51"
8	0,519	0,24	0,18	62"
9	0,494	0,21	0,18	72"
10	0,457	0,22	0,20	82"
11	0,415	0,25	0,22	93"
12	0,189	0,30	0,28	"
		EXPÉRIENCE N° 7. Débit du courant : $0^{mc},824$.		
1	0,463	0,35	0,20	"
2	0,482	0,36	0,15	0
3	0,496	0,30	0,20	12"
4	0,523	0,25	0,16	23"
5	0,527	0,27	0,20	33"
6	0,525	0,26	0,19	42"
7	0,548	0,25	0,19	51"
8	0,545	0,24	0,20	61"
9	0,525	0,23	0,15	72"
10	0,492	0,25	0,20	82"
11	0,462	0,29	0,20	93"
12	0,311	0,26	0,25	"

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
		EXPÉRIENCE N° 8.		
		Débit du courant : $0^{mc},927$.		
1	0,497	0,37	0,22	"
2	0,503	0,39	0,21	0
3	0,528	0,29	0,21	11"
4	0,543	0,28	0,22	21"
5	0,563	0,31	0,20	30"
6	0,558	0,29	0,21	40"
7	0,579	0,29	0,19	49"
8	0,602	0,27	0,19	59"
9	0,529	0,25	0,20	68"
10	0,527	0,29	0,23	78"
11	0,494	0,34	0,24	90"
12	0,336	0,28	0,27	"
		EXPÉRIENCE N° 9.		
		Débit du courant : $1^{mc},030$.		
1	0,509	0,41	0,30	"
2	0,528	0,39	0,25	0
3	0,554	0,35	0,23	10"
4	0,570	0,34	0,22	20"
5	0,584	0,34	0,22	29"
6	0,583	0,33	0,23	38"
7	0,609	0,30	0,22	49"
8	0,609	0,32	0,21	59"
9	0,587	0,31	0,22	69"
10	0,560	0,33	0,26	79"
11	0,529	0,29	0,24	89"
12	0,374	0,25	0,32	"

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
		EXPÉRIENCE N° 10. Débit du courant : 1^{mc},133.		
1	0,532	0,40	0,25	"
2	0,551	0,37	0,26	0
3	0,582	0,37	0,23	11"
4	0,597	0,30	0,23	20"
5	0,610	0,28	0,24	30"
6	0,613	0,30	0,24	39"
7	0,629	0,33	0,23	48"
8	0,650	0,32	0,22	57"
9	0,622	0,35	0,23	67"
10	0,581	0,38	0,26	76"
11	0,546	0,32	0,28	87"
12	0,421	0,43	0,33	"
		EXPÉRIENCE N° 11. Débit du courant : 1^{mc},236.		
1	0,560	0,35	0,25	"
2	0,580	0,40	0,28	0
3	0,608	0,35	0,28	11"
4	0,628	0,34	0,28	21"
5	0,646	0,35	0,25	30"
6	0,643	0,35	0,25	39"
7	0,665	0,30	0,23	49"
8	0,677	0,33	0,24	58"
9	0,653	0,32	0,25	67"
10	0,632	0,30	0,26	76"
11	0,611	0,31	0,30	87"
12	0,471	0,40	0,38	"

42. Il faut joindre aux onze expériences précédentes une autre série de six expériences analogues exécutées peu de temps après dans les circonstances suivantes. Le cadre en bois sur lequel avaient d'abord été fixées les portes formait à l'extrémité du plancher horizontal une saillie de $0^m,118$ de hauteur (pl. III, fig. 4); cette saillie constituait un petit barrage qui augmentait notablement la profondeur du courant en amont. Afin de faire disparaître cet obstacle on transporta les portes un peu plus loin et l'on plaça leur seuil en contre-bas du plancher horizontal. Par suite de cette nouvelle disposition, la chute s'opérait librement et le niveau de l'eau était abaissé. Les expériences furent alors renouvelées avec six débits différents. Les résultats obtenus ayant la plus grande analogie avec ceux de la série précédente, nous nous contenterons de donner la profondeur moyenne du courant, la hauteur et la vitesse moyenne du remous entre les points d'observation n°s 3 et 8. Ces deux points étaient distants d'environ 100 mètres, et dans cet espace toutes ces quantités restaient à peu près constantes. La disparition du petit obstacle qui gênait l'écoulement à l'extrémité du canal eut pour effet de diminuer notablement la vitesse de propagation du remous.

SÉRIE N° 13.
(10 décembre 1856.)

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	PROFONDEUR MOYENNE du courant.	HAUTEUR INITIALE moyenne du remous.	HAUTEUR MOYENNE du remous dix secondes après le passage de la 1re onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous à parcourir l'espace compris entre les points d'observation n°s 3 et 8.
	mèt.	mèt.	mèt.	
Expérience n° 1. Débit du courant : $0^{mc},203$.	0,227	0,048	0,033	84″
Expérience n° 2. Débit du courant : $0^{mc},411$.	0,323	0,123	0,092	69″
Expérience n° 3. Débit du courant : $0^{mc},618$.	0,402	0,192	0,133	60″
Expérience n° 4. Débit du courant : $0^{mc},824$.	0,467	0,278	0,192	56″
Expérience n° 5. Débit du courant : $1^{mc},030$.	0,526	0,322	0,212	53″
Expérience n° 6. Débit du courant : $1^{mc},236$.	0,575	0,383	0,232	50″

43. Dans tout ce qui précède, nous avons toujours supposé l'écoulement complétement arrêté par l'aval; mais si, après avoir fermé les portes on les rouvre au bout de quelques instants, cette interruption momentanée de l'écoulement donne lieu à ce que Bidone appelle un regonflement limité. Ce remous ou regonflement se propage contre le courant sous la forme d'une onde très-marquée et analogue en tous points aux ondes positives dont nous avons parlé dans le chapitre 1er. Sa vitesse est déterminée par la formule $V=\sqrt{g(H+h)}-U$, H étant la profondeur du courant, U sa vitesse moyenne et h la hauteur de l'onde. Cette formule s'applique même, comme on va le voir, à un remous indéfini, en ayant soin de prendre pour h la hauteur de l'onde initiale. Calculons, en effet, d'après cette base, pour les onze expériences de la série n° 12, le temps employé par le remous à franchir l'espace de 179m,50 compris entre les points d'observation nos 2 et 11.

Calcul de la vitesse de propagation.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	TEMPS employé par le remous à franchir l'espace de 179m,50 compris entre les points d'observation nos 2 et 11		DIFFÉRENCE.
	d'après le calcul.	d'après l'expérience.	
1	124",1	124"	+ 0",1
2	115",3	115"	+ 0",3
3	108",9	109"	— 0",1
4	101",4	100"	+ 1",4
5	97",0	97"	0
6	93",5	93"	+ 0",5
7	91",4	93"	— 1",6
8	89",1	90"	— 0",9
9	86",4	89"	— 2",6
10	86",1	87"	— 0",9
11	85",0	87"	— 2",0

Abstraction faite de quelques anomalies, l'accord entre le cal-

cul et l'observation est aussi complet qu'on peut le désirer. La série n° 13 conduit à un résultat semblable.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS à parcourir l'espace de 99m,65 compris entre les points d'observation n°s 3 et 8		DIFFÉRENCE.
	d'après le calcul.	d'après l'expérience.	
1	83",5	84"	— 0",5
2	68",6	69"	— 0",4
3	60",7	60"	+ 0",7
4	54",9	56"	— 1",1
5	52",4	53"	— 0",6
6	50",2	50"	+ 0",2

44. On voit donc que, pour pouvoir calculer la vitesse de propagation du remous, il suffit de connaître la hauteur h de la première onde. La loi suivant laquelle h dépend de H et de U est certainement fort compliquée : les circonstances initiales du phénomène, c'est-à-dire la manière dont s'opère la suspension de l'écoulement, paraissent d'ailleurs avoir une certaine influence; car en répétant la même expérience dans des conditions en apparence identiques, la hauteur de la première onde et sa vitesse ne sont pas toujours complétement les mêmes. Bidone admettant que la hauteur du remous est la même sur toute son étendue, a pris pour cette hauteur celle qui, multipliée par la vitesse V de propagation reproduit le débit connu du courant. Cette condition donne

$$Vh = UH \quad \text{d'où} \quad h = \frac{U}{V}H$$

mais la hauteur h de la première onde est, ainsi qu'on l'a déjà vu, ordinairement plus grande que $\frac{U}{V}H$.

Posons donc

$$h = K\frac{U}{V}H$$

K étant un coefficient numérique plus grand que l'unité, dont la valeur doit être déterminée au moyen des expériences précédentes. Nous avons en outre :

$$V = \sqrt{g(H+h)} - U$$

ou, en remplaçant h par sa valeur $K\frac{U}{V}H$,

$$V = \sqrt{gH\left(1 + K\frac{U}{V}\right)} - U$$

En faisant disparaître le radical et le dénominateur V, il vient,

$$(1) \qquad V(V+U)^2 - gH(V+KU) = 0$$

La résolution de cette équation complète du troisième degré serait assez longue; mais on peut l'éviter et parvenir à une expression très-simple et suffisamment approchée. Supposons pour un moment $K = 1$, le premier membre de l'équation devient divisible par $V+U$, et l'on a, après la division,

$$V(V+U) - gH = 0$$

d'où

$$(2) \qquad V = -\frac{U}{2} + \sqrt{\frac{U^2}{4} + gH}$$

Cette valeur de V doit être un peu trop petite; néanmoins elle est déjà assez approchée, et l'on peut reconnaître, en appliquant cette formule aux expériences précédentes, que l'erreur commise est presque toujours inférieure à $\frac{1}{20}$. Pour obtenir une plus grande approximation, nous remarquerons qu'en désignant pour abréger par V' cette première valeur de V, on a à fort peu près $h = K\frac{U}{V'}H$, et, par suite,

$$V = \sqrt{g\left(H + K\frac{U}{V'}H\right)} - U$$

ou

$$V = \sqrt{gH\left(\frac{V'+KU}{V'}\right)} - U$$

d'après l'équation (2), on a aussi

$$\frac{gH}{V'} = V' + U$$

et la valeur de V se réduit à

$$V = \sqrt{(V'+U)(V'+KU)} - U = (V'+U)\sqrt{1 + \frac{(K-1)U}{V'+U}} - U$$

La quantité $\frac{(K-1)U}{V'+U}$ étant toujours une fraction, la valeur du radical se réduit à peu près à $1 + \frac{\frac{1}{2}(K-1)U}{V'+U}$; on a donc enfin

$$V = (V'+U)\left[1 + \frac{\frac{1}{2}(K-1)U}{V'+U}\right] - U = V' + \frac{1}{2}(K-1)U$$

Remplaçons V' par sa valeur, cette expression devient :

$$(3) \qquad V = -\left(1 - \frac{K}{2}\right)U + \sqrt{\frac{U^2}{4} + gH}$$

Il ne reste plus qu'à donner à K une valeur numérique. Ce coefficient varie notablement d'une expérience à l'autre; il descend même au-dessous de l'unité pour la première expérience de chacune des deux séries; en les excluant sa valeur moyenne est 1,20 environ; le coefficient $1 - \frac{K}{2}$ est donc égal à 0,40, ou $\frac{2}{5}$, et la formule devient enfin :

$$(4) \qquad V = -\frac{2}{5}U + \sqrt{\frac{U^2}{4} + gH}$$

Elle est encore, dans beaucoup de cas, susceptible d'une dernière simplification; le terme $\frac{U^2}{4}$ n'a, le plus souvent, qu'une très-faible influence sur la valeur du radical; en le supprimant, on a :

$$(5) \qquad V = -\frac{2}{5}U + \sqrt{gH}$$

expression qui présente la plus grande analogie avec la formule (4) du chapitre précédent, dont elle peut être déduite en retranchant U du second membre.

45. En appliquant cette formule aux expériences précédentes, on voit que l'accord entre les résultats de l'observation et ceux du

calcul est satisfaisant, à l'exception toutefois des deux premières expériences de chaque série, où le calcul indique des vitesses un peu trop considérables.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	TEMPS employé par le remous à franchir l'espace de 179m,50 compris entre les points d'observation nos 2 et 11		DIFFÉRENCE.
	d'après le calcul.	d'après l'expérience.	
1	119",0	124"	— 5",0
2	112",4	115"	— 2",6
3	106",1	109"	— 2",9
4	102",7	100"	+ 2",7
5	98",4	97"	+ 1",4
6	95",6	93"	+ 2",6
7	93",1	93"	+ 0",1
8	91",0	90"	+ 1",0
9	89",1	89"	+ 0",1
10	87",5	87"	+ 0",5
11	85",0	87"	— 2",0

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	TEMPS employé par le remous à franchir l'espace de 99m,65 compris entre les points d'observation nos 3 et 8		DIFFÉRENCE.
	d'après le calcul.	d'après l'expérience.	
1	75",9	84"	— 8",1
2	65",4	69"	— 3",6
3	59",4	60"	— 0",6
4	55",8	56"	— 0",2
5	53",1	53"	+ 0",1
6	51",3	50"	+ 1",3

46. Bidone a déduit de ses expériences les deux relations :

Application de la formule précédente aux expériences de Bidone.

$$Vh = UH \qquad h = \frac{2H + h}{h}\frac{U^2}{2g}$$

L'élimination de h entre ces deux équations conduit à

$$V\left(V+\frac{1}{2}U\right)=gH$$

d'où l'on tire

$$V=-\frac{U}{4}+\sqrt{\frac{U^2}{16}+gH}$$

expression que Bidone présente sous une forme un peu différente. Cette formule ne s'applique pas très-bien aux expériences des séries n°s 12 et 13, et fournit des vitesses constamment trop grandes; si l'on applique aux expériences de Bidone la nouvelle formule (4), on obtient des vitesses trop faibles de quelques centimètres.

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	PREMIÈRE PARTIE DU CANAL. VITESSE		DEUXIÈME PARTIE DU CANAL. VITESSE.	
	d'après le calcul.	d'après l'expérience.	d'après le calcul.	d'après l'expérience.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
1	0,686	0,722	0,760	0,799
2	0,800	0,866	0,893	0,909
3	0,987	1,124	1,072	1,130
4	1,329	1,340	1,344	1,299
5	1,082	1,130	1,102	1,160
6	1,211	1,214	1,228	1,299

Mais il faut remarquer que les expériences de Bidone renferment visiblement des erreurs d'observation assez notables. Ces erreurs étaient inévitables en opérant sur une aussi petite échelle. Dans plusieurs de ses expériences, l'intervalle de temps dont Bidone déduisait la vitesse n'était que de 5 secondes; la profondeur du canal n'ayant pas dépassé $0^m,20$, la moindre erreur sur la mesure de cette profondeur modifie sensiblement les résultats du calcul. On ne peut donc s'attendre à trouver dans ses résultats la préci-

sion que permettent d'atteindre des expériences sur une plus grande échelle.

47. Avant de terminer l'exposé des résultats obtenus sur un canal horizontal, nous allons encore rapporter une expérience faite, le 28 octobre 1856, en fermant une seule des deux portes établies à la partie inférieure du canal. L'écoulement, au lieu d'être complétement arrêté, était donc simplement restreint. La physionomie générale du phénomène est restée la même que dans le cas d'une suspension complète de l'écoulement; mais la hauteur du remous et sa vitesse de propagation ont été moindres, ainsi que l'on pouvait s'y attendre.

Expérience faite en n'arrêtant que partiellement l'écoulement.

EXPÉRIENCE FAITE LE 28 OCTOBRE 1856,

avec un débit de $1^{mc},236$ par seconde.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du REMOUS.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.
	mèt.	mèt.	mèt.	
1	0,560	0,25	0,22	"
2	0,580	0,22	0,14	0
3	0,608	0,15	0,12	13"
4	0,628	0,15	0,13	25"
5	0,646	0,15	0,12	36"
6	0,643	0,12	0,10	46"
7	0,665	0,13	0,09	57"
8	0,677	0,10	0,09	69"
9	0,653	0,10	0,09	79"
10	0,632	0,13	0,11	91"
11	0,611	0,150	0,15	103"
12	0,471	0,150	0,18	"

Il n'est donc nullement nécessaire que l'écoulement soit complétement arrêté pour que le phénomène du remous se produise avec tous les caractères qui lui sont propres. Toute diminution subite de l'écoulement donne naissance à un remous qui se propage ensuite vers l'amont. Il est d'ailleurs impossible d'assigner dans ce cas une formule précise faisant connaître la hauteur et la vitesse du remous; car ces deux éléments dépendent de la quantité d'eau qui peut encore s'écouler malgré la présence de l'obstacle opposé au courant, et par suite de la figure même de cet obstacle.

Expériences de 1859, dans un canal incliné.

48. Considérons maintenant un canal dont le fond, au lieu d'être horizontal, soit incliné suivant une certaine pente; si l'on arrête l'écoulement, il se formera nécessairement un remous comme dans les expériences précédentes, mais la loi de propagation ne pourra plus être la même. Admettons pour un instant l'hypothèse extrême dans laquelle le canal aurait une pente très-forte et peu de profondeur, il est clair que la hauteur de l'onde qui forme la tête du remous n'aura qu'une très-faible influence sur son mouvement, et sa vitesse de propagation dépendra presque uniquement du temps employé par le courant à remplir l'espace occupé par l'eau du remous. La nature du phénomène est donc complétement changée; dans un canal horizontal le remous pouvait se propager presque indéfiniment avec une vitesse et une hauteur sensiblement constantes; dans un canal fortement incliné, au contraire, sa vitesse va en se ralentissant d'une manière progressive à mesure qu'il s'éloigne du barrage. Le problème dont il fallait, dans le premier cas, demander la solution à la théorie des ondes devient donc dans le second une question purement géométrique. Les divers cas qui peuvent se rencontrer dans les applications se placent entre les deux hypothèses extrêmes que nous venons d'examiner. La recherche de la propagation du remous

dans un canal incliné est donc un problème compliqué dont la solution générale présente de grandes difficultés. Les expériences dont nous allons rapporter les résultats ne sont pas assez nombreuses pour qu'il soit possible d'en déduire des formules; elles conduisent néanmoins à quelques conclusions intéressantes. Ces expériences forment deux séries : la première a été faite dans le même canal que la série n° 12, après avoir donné au fond, qui primitivement était horizontal, une pente régulière de $0^m,0015$ par mètre (pl. IV, fig. 1). Les procédés d'observation ont été identiquement les mêmes que pour la série n° 12. La seconde série a été exécutée dans les rigoles du point de partage du canal de Bourgogne sur des pentes inférieures à un millimètre par mètre. Nous allons d'abord exposer les résultats obtenus sur le canal en planches.

SÉRIE N° 14.

(21 et 23 mai 1859.)

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour parvenir à chaque point d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour franchir l'espace compris entre deux points d'observation consécutifs.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 1.			
			Débit du courant par seconde : $0^{me},203$.			
1	0,114	0,10	0,09	0	31",0	L'onde n'a déferlé nulle part.
2	0,135	0,09	0,06	31",0	32",5	
3	0,137	0,05	0,05	63",5	40",7	
4	0,130	0,04	0,04	104",2	45",3	
5	0,126	0,03	0,04	149",5	48",0	
6	0,133	0,03	0,03	197",5		

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour parvenir à chaque point d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour franchir l'espace compris entre deux points d'observation consécutifs.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 2.			
			Débit du courant par seconde : $0^{mc},411$.			
1	0,182	0,15	0,16	0		L'onde a déferlé entre les points d'observation nos 1 et 3.
2	0,209	0,16	0,14	21",7	21",7	
3	0,207	0,15	0,13	42",9	21",2	
4	0,202	0,15	0,13	67",0	24",1	
5	0,198	0,13	0,12	92",7	25",7	
6	0,203	0,11	0,10	118",5	25",8	
7	0,200	0,10	0,09	147",8	29",3	
8	0,204	0,08	0,08	179",1	31",3	
9	0,207	0,05	0,07	212",8	33",7	
10	0,207	0,04	0,05	249",8	37",0	
			EXPÉRIENCE N° 3.			
			Débit du courant par seconde : $0^{mc},618$.			
1	0,236	0,22	0,22	0		L'onde a déferlé entre les points d'observation nos 1 et 8.
2	0,264	0,20	0,19	17",4	17",4	
3	0,268	0,20	0,20	34",5	17",1	
4	0,264	0,20	0,19	52",8	18",3	
5	0,258	0,17	0,17	72",7	19",9	
6	0,259	0,20	0,17	91",3	18",6	
7	0,256	0,19	0,17	112",8	21",5	
8	0,264	0,17	0,15	134",8	22",0	
9	0,264	0,14	0,12	157",4	22",6	
10	0,266	0,12	0,11	182",6	25",2	
11	0,239	0,11	0,11	203",0	20",4	
12	0,162	0,20	0,20	241",3	38",3	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour parvenir à chaque point d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour franchir l'espace compris entre deux points d'observation consécutifs.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 4.			
			Débit du courant par seconde : 0^{mc},824.			
1	0,293	0,30	0,26	0		L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 1 et 7.
2	0,320	0,24	0,23	16″,6	16″,6	
3	0,321	0,23	0,22	32″,0	15″,4	
4	0,307	0,22	0,22	49″,5	17″,5	
5	0,324	0,25	0,20	67″,9	18″,4	
6	0,304	0,23	0,20	85″,0	17″,1	
7	0,328	0,23	0,18	104″,8	19″,8	
8	0,287	0,23	0,17	124″,0	19″,2	
9	0,328	0,19	0,16	144″,9	20″,9	
10	0,327	0,14	0,14	165″,9	21″,0	
11	0,310	0,20	0,12	184″,6	18″,7	
			EXPÉRIENCE N° 5.			
			Débit du courant par seconde : 1^{mc},030.			
1	0,318	0,34	0,35	0		L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 1 et 9.
2	0,366	0,30	0,28	14″,8	14″,8	
3	0,376	0,29	0,27	28″,7	13″,9	
4	0,359	0,28	0,26	43″,2	14″,5	
5	0,366	0,28	0,23	59″,1	15″,9	
6	0,374	0,25	0,22	74″,5	15″,4	
7	0,364	0,26	0,21	90″,0	15″,5	
8	0,375	0,24	0,18	106″,5	16″,5	
9	0,375	0,30	0,20	124″,5	18″,0	
10	0,385	0,23	0,16	142″,0	17″,5	
11	0,408	0,30	0 18	158″,6	16″,6	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de l'onde.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour parvenir à chaque point d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS pour franchir l'espace compris entre deux points d'observation consécutifs.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.			
			EXPÉRIENCE N° 6.			
			Débit du courant par seconde : 1^{mc},236.			
1	0,370	0,38	0,33	0		L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 1 et 9.
2	0,406	0,35	0,30	14",4	14",4	
3	0,424	0,34	0,28	28",0	13",6	
4	0,413	0,34	0,26	42",7	14",7	
5	0,414	0,30	0,26	58",1	15",4	
6	0,411	0,30	0,25	72",5	14",4	
7	0,414	0,30	0,23	88",8	16",3	
8	0,421	0,30	0,22	104",9	16",1	
9	0,424	0,30	0,22	122",5	17",6	
10	0,423	0,30	0,20	139",4	16",9	
11	0,537	0,24	0,17	155",5	16",1	
12	0,275	0,30	0,26	179",8	24",3	
			EXPÉRIENCE N° 6 *bis*.			
			Débit du courant par seconde : 1^{mc},236.			
1	0,370	0,35	0,35	0		L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 1 et 10.
2	0,406	0,34	0,31	13",4	13",4	
3	0,424	0,32	0,32	26",8	13",4	
4	0,413	0,35	0,27	40",8	14",0	
5	0,414	0,30	0,26	55",6	14",8	
6	0,411	0,33	0,24	69",4	13",8	
7	0,414	0,30	0,23	84",8	15",4	
8	0,421	0,36	0,23	100",4	15",6	
9	0,424	0,30	0,22	117",3	16",9	
10	0,423	0,30	0,21	133",6	16",3	

49. La marche du remous a présenté dans ces expériences une circonstance importante, qui ne s'était pas produite dans le canal horizontal; l'onde initiale, au lieu d'avoir une surface arrondie, déferlait avec violence sur la plus grande partie de son parcours (pl. IV, fig. 2). Recherchons quelle est la condition nécessaire pour que le déferlement se produise sur un canal à faible pente. Si nous admettons, comme précédemment, que l'onde ne peut se propager sans se briser qu'autant que la profondeur H est au moins égale à sa hauteur h, au moment où le déferlement commence à se produire, on a $h = H$, et la vitesse est, Condition du déferlement.

$$V = \sqrt{2gH} - U$$

mais on a d'autre part approximativement $Vh = UH$, d'où

$$h = \frac{UH}{\sqrt{2gH} - U}$$

On doit avoir, dès qu'il y a déferlement, $h > H$, ou

$$\frac{UH}{\sqrt{2gH} - U} > H$$

ce qui revient à

$$U > \frac{1}{2}\sqrt{2gH}$$

Telle est la limite à partir de laquelle le déferlement doit certainement se produire; mais, ainsi que nous l'avons déjà fait remarquer, l'onde ayant une tendance à se briser avant que sa hauteur puisse devenir égale à la profondeur, le déferlement aura lieu pour des valeurs de U inférieures à cette limite. Les conclusions précédentes se vérifient sur les séries n°s 12, 13 et 14. Dans les deux premières, où le déferlement ne s'était pas produit, U n'avait pas dépassé le tiers de $\sqrt{2gH}$; dans la dernière, au contraire, U a été supérieure à $\frac{1}{2}\sqrt{2gH}$.

50. Lorsque le remous se propage dans un canal horizontal où la profondeur du courant n'augmente que très-lentement, sa vitesse est presque constante, et, après son passage, l'eau reste stagnante sans que son niveau s'élève d'une manière sensible. Il Figure concave du remous.

n'en est plus de même dans un canal incliné. Considérons la surface de l'eau du remous dans deux positions successives. Si cette eau était stagnante, sa hauteur contre le barrage augmenterait proportionnellement à l'espace parcouru par le remous, et la différence des hauteurs correspondantes aux deux positions du remous serait égale à la pente du canal dans l'espace parcouru par le remous. Mais on va voir que la hauteur contre le barrage augmente moins vite que l'espace parcouru par le remous. Cette hauteur a été observée de 1 seconde en 1 seconde après la fermeture des portes. (Ces portes étaient placées à $34^m,43$ en aval du point d'observation n° 1.)

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	PROFONDEUR D'EAU CONTRE LES PORTES.						
	Expérience n° 1.	Expérience n° 2.	Expérience n° 3.	Expérience n° 4.	Expérience n° 5.	Expérience n° 6.	Expérience n° 6 *bis*.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Au bout de la 1re minute.	0,24	0,36	0,50	0,60	0,70	0,76	0,79
——— 2e.....	0,28	0,44	0,57	0,68	0,76	0,84	0,86
——— 3e.....	0,32	0,48	0,64	0,73	0,84	0,88	0,92
——— 4e.....	0,35	0,53	0,69	0,76	0,90	0,91	0,97
——— 5e.....	0,38	0,58	0,75	0,80	"	0,94	1,00
——— 6e.....	0,40	0,62	0,79	0,82	"	"	1,03

Comparons l'augmentation de la hauteur d'eau contre les portes pendant un certain espace de temps avec la pente du canal sur toute la longueur parcourue par le remous pendant le même temps. Prenons pour exemple l'expérience n° 6 *bis* : à la fin de la première minute la hauteur d'eau était de $0^m,79$; à la fin de la deuxième, $0^m,86$, augmentation $0^m,07$; pendant cette deuxième minute le remous a parcouru une longueur de 80 mètres; la pente du canal sur cette longueur est de $80 \times 0,0015$, soit $0^m,12$; le niveau de l'eau contre les portes s'élève donc moins vite que si la surface du remous était stagnante, en sorte que le profil est concave vers le haut. La durée de l'expérience était trop courte

pour qu'il fût possible d'en relever exactement la figure; mais on verra plus loin, dans les expériences faites sur les rigoles du canal de Bourgogne, des exemples de profils dans lesquels cette concavité est parfaitement marquée.

Calcul de la vitesse de propagation.

51. Lorsqu'il y a déferlement, il n'est plus possible de calculer la vitesse de propagation du remous à l'aide de la formule $V=\sqrt{g(H+h)}-U$, h étant toujours la hauteur de l'onde initiale; cette formule ne donne plus que des vitesses notablement trop faibles. Considérons séparément dans chaque expérience la partie dans laquelle il y a eu déferlement et celle dans laquelle ce phénomène ne s'est pas produit, et calculons pour chacune d'elles le temps correspondant.

NUMÉROS des expériences.	PREMIÈRE PARTIE DANS LAQUELLE L'ONDE A DÉFERLÉ.			DEUXIÈME PARTIE DANS LAQUELLE L'ONDE N'A PAS DÉFERLÉ.		
	INDICATION des espaces parcourus.	TEMPS correspondants d'après le calcul.	TEMPS correspondants d'après l'expérience.	INDICATION des espaces parcourus.	TEMPS correspondants d'après le calcul.	TEMPS correspondants d'après l'expérience.
1	"	"	"	Du point n° 1 au n° 5.	141",5	149",5
2	Du point n° 1 au n° 3.	48",2	42",9	Du point n° 3 au n° 10.	200",1	206",9
3	Du point n° 1 au n° 8.	153",8	134",8	Du point n° 8 au n° 10.	48",7	47",8
4	Du point n° 1 au n° 7.	119",0	104",8	Du point n° 7 au n° 10.	59",3	61",1
5	Du point n° 1 au n° 9.	146",9	124",5	Du point n° 9 au n° 10.	17",0	17",5
6	*Idem*.....	136",7	122",5	*Idem*.....	16",4	16",9
6 *bis*	Du point n° 1 au n° 10.	151",8	133",6	"	"	"

On voit d'après ces chiffres qu'il y a accord entre les résultats de l'observation et ceux du calcul toutes les fois que l'onde ne déferle pas, et qu'au contraire les vitesses calculées se trouvent trop petites dès qu'il y a déferlement.

Il n'est pas possible d'appliquer à ces expériences la formule (5),

puisqu'elle suppose que le niveau de l'eau du remous reste à peu près invariable; toutefois, si l'on considère seulement la partie du canal comprise entre les points d'observation n°s 1 et 3, c'est-à-dire celle qui est la plus rapprochée des portes, il est clair que l'influence de la pente et de l'élévation progressive du remous y sera encore peu importante, et que l'on peut y appliquer la formule (5). On obtient ainsi les résultats suivants :

NUMÉROS des EXPÉRIENCES.	TEMPS EMPLOYÉ PAR LE REMOUS à franchir l'espace de 40^m,45 compris entre les points d'observation n°s 1 et 3	
	d'après le calcul.	d'après l'expérience.
1	49",8	63",5
2	40",7	42",9
3	36",6	34",5
4	33",1	32",0
5	31",6	28",7
6	29",7	28",0
6 *bis*	29",7	26",8

Si l'on excepte l'expérience n° 1, on voit donc que cette formule est encore applicable sans grande erreur.

52. Remarquons en passant qu'il existe entre les deux expériences n°s 6 et 6 *bis* une différence assez sensible. Dans la première, la hauteur de l'onde initiale et sa vitesse sont un peu plus petites que dans la seconde. Le phénomène ne se reproduit donc pas toujours identiquement; ces différences paraissent provenir des circonstances initiales qui accompagnent la suspension de l'écoulement. Lorsque l'on abandonne au courant les deux portes destinées à fermer la rigole, il est presque impossible qu'elles se ferment parfaitement en même temps. La suppression de l'écoulement n'est donc pas toujours instantanée et s'opère dans certains cas en deux instants distincts et séparés par un intervalle de temps de quelques dixièmes de seconde. On conçoit que la hauteur de la première onde, qui s'élève contre les portes pour se

propager ensuite vers l'amont, peut se trouver un peu modifiée par ces circonstances. Les formules à l'aide desquelles on cherche à représenter son mouvement devraient donc renfermer une trace de cette hauteur initiale; mais la question ainsi posée se compliquerait beaucoup, et les éléments dont nous pouvons disposer sont complétement insuffisants pour pouvoir la résoudre.

Expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne en 1859.

53. Nous allons exposer maintenant les expériences faites sur les rigoles du canal de Bourgogne; ces expériences sont au nombre de deux, exécutées, l'une sur la rigole de Chazilly et l'autre sur celle de Grosbois.

On s'est encore servi, pour arrêter l'écoulement, de portes se fermant sous l'impulsion du courant. Ces portes ont été placées sur la rigole de Chazilly immédiatement en amont de la partie murée du Tillot, et sur la rigole de Grosbois au pont de Veucher (pl. IV, fig. 3 et 4). La pente des rigoles était de $0^m,001$ environ par mètre pour celle de Chazilly, et de $0^m,0004$ par mètre pour celle de Grosbois. Leur section transversale était un trapèze.

Il n'était plus possible de suivre de l'œil la propagation du remous, qui n'était plus sensible à la surface du courant. On a donc placé de distance en distance des observateurs chargés de lire tous à la fois la hauteur de l'eau sur des échelles disposées à cet effet. Ces observateurs étaient espacés de la manière suivante :

RIGOLE DE CHAZILLY.

1er Observateur à	40 mètres en amont des portes.	
2e Observateur à	109 mètres en amont du précédent, soit à	149^m des portes.
3e Observateur à	100 *idem*	249^m
4e Observateur à	100 *idem*	349^m
5e Observateur à	100 *idem*	449^m
6e Observateur à	100 *idem*	549^m
7e Observateur à	100 *idem*	649^m

RIGOLE DE GROSBOIS.

1er	Observateur immédiatement en amont des portes.	
2e	Observateur à 77m,60 en amont du précédent.	
3e	Observateur à 100 mètres en amont du précédent, soit à	177m,60 des portes.
4e	Observateur à 100 *idem*.....	277m,60
5e	Observateur à 98m,60 *idem*.....	376m,20
6e	Observateur à 101m,40 *idem*.....	477m,60
7e	Observateur à 415m,30 *idem*.....	892m,90
8e	Observateur à 229m,20 *idem*.....	1,122m,10
9e	Observateur à 255m,50 *idem*.....	1,377m,60
10e	Observateur à 214m *idem*.....	1,591m,60
11e	Observateur à 275m,10 *idem*.....	1,866m,70

Sur la rigole de Chazilly, les observateurs les plus éloignés n'étant séparés que par un intervalle de 600 mètres, le signal des observations simultanées était donné par le son d'une corne qui pouvait être entendu par tous à la fois. Sur la rigole de Grosbois, les distances étant plus considérables, ce procédé n'était plus applicable; chaque observateur a été muni d'une montre soigneusement réglée. Les hauteurs de l'eau ont toujours été notées de minute en minute; mais, afin de ne pas donner aux tableaux suivants un trop grand développement, nous n'inscrirons ces hauteurs qu'à des intervalles plus éloignés, en supprimant les indications intermédiaires lorsqu'elles ne varient que lentement. Ces tableaux donnent pour chaque observateur la hauteur de l'eau au-dessus de son niveau mesuré avant le commencement de l'expérience.

L'opération était conduite de la manière suivante : à une heure parfaitement convenue d'avance on fermait les portes de manière à suspendre complétement l'écoulement; à partir de ce moment, tous les observateurs notaient de minute en minute la hauteur de l'eau. On laissait les portes fermées jusqu'à ce que l'eau fût sur le point de déborder par-dessus les levées de la rigole; puis on ouvrait; l'eau accumulée s'écoulait rapidement; mais on continuait l'observation des hauteurs jusqu'à ce qu'elle fût revenue à peu près à son niveau primitif. Chaque expérience comprenait

deux périodes distinctes : pendant la première, l'eau s'accumulait et le remous se propageait graduellement vers l'amont; pendant la deuxième, le phénomène inverse avait lieu, et l'abaissement produit par le rétablissement subit de l'écoulement se propageait de même vers l'amont, jusqu'à ce que le régime primitif du courant fût à peu près rétabli. L'examen des tableaux suppléera, du reste, à ce que ces observations pourront présenter d'incomplet.

SÉRIE N° 15.

(6 et 19 août 1859.)

RIGOLE DE CHAZILLY.

EXPÉRIENCE N° 1.

TEMPS écoulé depuis la fermeture des portes.	HAUTEUR DE L'EAU AU-DESSUS DE SON NIVEAU PRIMITIF.						
	Observateur n° 1.	Observateur n° 2.	Observateur n° 3.	Observateur n° 4.	Observateur n° 5.	Observateur n° 6.	Observateur n° 7.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0	0	0	0	0	0	0	0
1′	0,120	0	0	0	0	0	0
2′	0,170	0,075	0	0	0	0	0
3′	0,230	0,115	0,010	0	0	0	0
4′	0,270	0,155	0,025	0,002	0	0	0
5′	0,305	0,190	0,040	0,005	0	0	0
6′	0,330	0,215	0,065	0,020	0	0	0
7′	0,355	0,245	0,090	0,035	0	0	0
8′	0,380	0,270	0,110	0,050	0,010	0	0
9′	0,400	0,290	0,130	0,065	0,020	0	0
A L'EXPIRATION DE LA 9e MINUTE LES PORTES SONT ROUVERTES ET L'ÉCOULEMENT EST RÉTABLI.							
10′	0,330	0,305	0,150	0,085	0,025	0	0
11′	0,270	0,200	0,160	0,100	0,030	0,005	0
12′	0,230	0,185	0,110	0,105	0,040	0,005	0
13′	0,200	0,155	0,100	0,085	0,040	0,010	0,010
14′	0,180	0,140	0,085	0,075	0,030	0,015	0,010
16′	0,135	0,105	0,070	0,060	0,025	0,015	0,010
18′	0,110	0,075	0,060	0,055	0,020	0,015	0,010
20′	0,080	0,060	0,045	0,038	0,017	0,015	0,020
22′	0,060	0,045	0,035	0,030	0,015	0,015	0,020
24′	0,045	0,035	0,025	0,020	0,010	0,010	0,020

RIGOLE DE GROSBOIS.

EXPÉRIENCE N° 2.

TEMPS écoulé depuis la fermeture des portes.	HAUTEUR DE L'EAU AU-DESSUS DE SON NIVEAU PRIMITIF.										
	Observateur n° 1.	Observateur n° 2.	Observateur n° 3.	Observateur n° 4.	Observateur n° 5.	Observateur n° 6.	Observateur n° 7.	Observateur n° 8.	Observateur n° 9.	Observateur n° 10.	Observateur n° 11.
	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.	mét.
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1′	0,040	0,040	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2′	0,045	0,045	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3′	0,055	0,055	0,048	0	0	0	0	0	0	0	0
4′	0,065	0,065	0,058	0,042	0,020	0	0	0	0	0	0
5′	0,075	0,077	0,063	0,045	0,030	0	0	0	0	0	0
6′	0,085	0,085	0,068	0,055	0,030	0,020	0	0	0	0	0
8′	0,100	0,102	0,088	0,070	0,049	0,030	0	0	0	0	0
10′	0,115	0,116	0,098	0,085	0,060	0,045	0	0	0	0	0
12′	0,125	0,125	0,113	0,100	0,071	0,060	0	0	0	0	0
15′	0,147	0,144	0,128	0,115	0,087	0,071	0,010	0	0	0	0
20′	0,168	0,168	0,153	0,140	0,111	0,098	0,023	0,005	0	0	0
25′	0,196	0,191	0,178	0,162	0,133	0,120	0,042	0,015	0	0	0
30′	0,215	0,210	0,193	0,182	0,154	0,141	0,059	0,025	0,010	0	0
35′	0,229	0,229	0,218	0,201	0,173	0,158	0,075	0,040	0,015	0	0
40′	0,248	0,248	0,234	0,218	0,189	0,176	0,092	0,050	0,020	0	0
45′	0,265	0,265	0,250	0,235	0,207	0,194	0,109	0,060	0,025	0	0
50′	0,277	0,282	0,270	0,253	0,226	0,210	0,123	0,070	0,030	0,002	0
55′	0,285	0,299	0,283	0,267	0,237	0,225	0,139	0,085	0,035	0,004	0
1h 00′	0,315	0,313	0,298	0,284	0,256	0,240	0,151	0,095	0,040	0,010	0,010
1h 5′	0,333	0,329	0,314	0,300	0,270	0,258	0,164	0,110	0,050	0,011	0,020
1h 10′	0,345	0,342	0,331	0,316	0,285	0,270	0,178	0,120	0,055	0,012	0,020
1h 15′	0,360	0,354	0,345	0,331	0,300	0,284	0,191	0,135	0,055	0,013	0,030
1h 22′	0,376	0,374	0,360	0,348	0,317	0,301	0,208	0,150	0,060	0,020	0,030
A L'EXPIRATION DE LA 22e MINUTE LES PORTES SONT ROUVERTES ET L'ÉCOULEMENT EST RÉTABLI.											
1h 23′	//	0,250	0,288	0,350	0,317	0,304	0,210	0,150	0,070	0,022	0,030
1h 24′	//	0,170	0,238	0,260	0,320	0,307	0,213	0,155	0,070	0,025	0,030
1h 25′	0,200	0,170	0,198	0,245	0,270	0,285	0,216	0,155	0,070	0,027	0,030
1h 26′	0,155	0,155	0,178	0,220	0,240	0,250	0,219	0,160	0,075	0,028	0,030
1h 27′	0,140	0,145	0,168	0,210	0,220	0,225	0,222	0,160	0,075	0,029	0,030
1h 28′	0,140	0,137	0,158	0,195	0,210	0,210	0,225	0,160	0,075	0,030	0,030
1h 29′	0,139	0,134	0,153	0,180	0,200	0,200	0,220	0,165	0,080	0,030	0,030
1h 30′	0,137	0,134	0,148	0,175	0,190	0,190	0,200	0,150	0,080	0,031	0,041
1h 35′	0,137	0,132	0,138	0,145	0,165	0,160	0,154	0,125	0,090	0,035	0,041

54. La hauteur de la première onde était trop petite pour pouvoir être mesurée en aucun point; il faut en excepter toutefois une petite partie de la rigole de Chazilly comprise entre les portes et l'observateur n° 1; cette partie était en maçonnerie et avait la forme d'un rectangle de $2^m,50$ de largeur au fond, avec parois latérales légèrement inclinées; la hauteur de l'onde et sa vitesse ont été mesurées aux deux extrémités de cette rigole murée, et ont donné les résultats suivants.

INDICATION DES POINTS D'OBSERVATION.	PROFONDEUR DU COURANT.	HAUTEUR DE L'ONDE.	VITESSE DE L'ONDE.
	mèt.	mèt.	mèt.
A 2 mètres en amont des portes.....	0,567	0,205	2,29
A 27 mètres en amont des portes.....	0,545	0,215	

La vitesse du courant étant de $0^m,46$, la formule

$$V=\sqrt{g(H+h)}-U$$

donnerait pour la vitesse de l'onde $2^m,28$; la formule

$$V=-\frac{2}{5}U+\sqrt{gH}$$

donnerait une valeur un peu faible, $2^m,15$.

Nous trouvons encore ici un exemple de l'influence que peuvent exercer les circonstances initiales du phénomène. Il est facile, en effet, de voir en discutant l'expérience précédente que la hauteur de l'onde initiale et, par suite, sa vitesse ont été, toutes choses égales d'ailleurs, plus grandes que dans les expériences des séries n°s 12 et 13[1]. Peut-être cette augmentation de la hauteur de l'onde tient-elle à la disposition convergente des parois de la rigole immédiatement en amont des portes.

55. A l'exception du cas particulier que nous venons d'indi-

[1] En effet, en calculant comme on l'a fait pour ces deux séries la valeur du coefficient K, on trouverait non plus 1,20, mais près de 1,90, valeur qui annulerait presque entièrement le premier terme de la formule (3).

quer, la vitesse de propagation du remous ne pouvait être appréciée que d'une manière assez grossière. On a eu recours pour la rendre sensible au procédé suivant : un piquet surmonté d'une petite planchette était planté dans l'eau à côté de chaque observateur, de telle sorte que la surface supérieure de cette planchette fût exactement au niveau de la surface du courant qui était très-calme. L'arrivée du remous était annoncée par l'apparition d'une légère couche d'eau qui venait recouvrir la surface de la planchette. Le tableau suivant indique pour chaque point d'observation le moment où l'eau a commencé à s'élever et celui où elle a commencé à s'abaisser après le rétablissement de l'écoulement. L'expérience n° 1 est la seule pour laquelle on ait tenté d'apprécier les secondes dans l'observation du mouvement de propagation du remous.

NUMÉROS des observateurs.	INDICATION DU MOMENT OU L'EAU A COMMENCÉ	
	À MONTER.	À DESCENDRE.
	EXPÉRIENCE N° 1.	
1	Quelques secondes après la fermeture des portes..	Quelques secondes après la réouverture des portes, qui sont restées fermées pendant 9'.
2	1' 5" après la fermeture des portes.....	1' et quelq. secondes après la réouverture des portes.
3	2' 4" *idem*.....	2' *idem*.
4	3' 50" *idem*.....	3' *idem*.
5	7' 20" *idem*.....	4' *idem*.
6	10' 7" *idem*.....	13' *idem*.
7	12' 8" *idem*.....	
	EXPÉRIENCE N° 2.	
1	Au moment même de la fermeture des portes.....	Au moment même de la réouverture des portes, qui sont restées fermées pendant 1 h. 22'.
2	Moins d'une minute après la fermeture des portes.	Moins d'une minute après la réouverture des portes.
3	2' et quelques secondes après la fermeture des portes.	*Idem*.
4	3' *idem*.....	1' et quelques secondes après la réouverture des portes.
5	3' *idem*.....	2' *idem*.
6	5' *idem*.....	2' *idem*.
7	12' *idem*.....	6' *idem*.
8	16' *idem*.....	7' *idem*.
9	25' *idem*.....	13' *idem* (paraît erronée).
10	46' *idem*.....	16' *idem*.
11	59' *idem*.....	29' *idem*.

Ces indications présentent nécessairement quelques anomalies. Il est difficile d'apprécier exactement le moment où l'eau commence à monter ou à descendre lorsque son mouvement est lent. L'abaissement, après la réouverture des portes, se propage plus rapidement que le remous. Ce fait s'explique de lui-même, parce que la profondeur de l'eau est plus grande dans le premier cas que dans le second.

Profils instantanés de la surface du courant.

56. Les hauteurs consignées dans les tableaux qui précèdent permettent de tracer graphiquement des profils instantanés de la surface du courant indiquant les figures qu'elle affecte successivement pendant les différentes phases de chaque expérience. Ces profils sont figurés sur la planche IV (fig. 3 et 4); tant que l'écoulement est arrêté, ils sont concaves vers le haut. On voit distinctement, en comparant les profils successifs, le remous se propager de proche en proche et s'élever, en remontant le courant, à une hauteur bien supérieure à celle de la retenue qui a lieu contre le barrage. Dès que l'écoulement est rétabli, l'abaissement se produit très-rapidement dans la partie inférieure du canal; mais néanmoins le remous continue encore, pendant assez longtemps, sa marche ascensionnelle dans la partie supérieure. On obtient ainsi sur une petite échelle quelque chose d'analogue au jeu alternatif des marées à l'embouchure des fleuves. Nous n'essayerons pas toutefois de tirer de ces expériences des conclusions générales; elles sont, en effet, tout à fait insuffisantes pour l'étude d'une question aussi complexe, et l'on ne saurait y voir autre chose qu'une représentation figurative de la marche du phénomène.

CHAPITRE IV.

EXPÉRIENCES SUR LA PROPAGATION DU REMOUS DANS UN COURANT DONT LES EAUX SONT REFOULÉES PAR CELLES D'UN CONTRE-COURANT.

Dispositions générales adoptées pour les expériences.

57. Considérons maintenant le cas le plus compliqué de la propagation du remous, c'est-à-dire celui où il se propage dans un courant dont les eaux sont refoulées par celles d'un contre-courant, comme par exemple celles d'un fleuve dans lequel remonte la marée. Le phénomène est beaucoup moins simple que ceux dont il a été parlé précédemment et qu'il comprend évidemment comme cas particuliers. M. Darcy en a fait en 1857 l'objet de trois séries d'expériences; ces expériences, quoique assez nombreuses, laissaient encore dans l'obscurité plusieurs points importants; nous avons essayé de les compléter en 1859 par deux nouvelles séries. Les expériences de 1857 et de 1859 ne sauraient du reste être séparées, elles se complètent les unes par les autres, comme on va le voir par l'exposé des procédés d'observation employés.

Expériences de 1857. — Le courant sur lequel il s'agissait de produire un remous était établi dans la rigole avec des débits de $0^{mc},203$, $0^{mc},618$, $0,^{mc}927$ et $1^{mc},236$; afin de varier la profondeur de l'eau pour un même débit, on plaçait à 450 mètres de l'origine, c'est-à-dire à l'extrémité du coude de la rigole, des poutrelles formant barrage de hauteur variable (pl. V, fig. 1). Ce barrage a eu, suivant les cas, $0^{m},20$, $0^{m},40$, $0^{m},60$ de hauteur. Le courant dont les eaux devaient refouler celles du premier courant établi dans la rigole était produit à l'aide de la seconde prise d'eau située à 432 mètres de l'origine. Cette vanne était levée de $0^{m},135$ pour la première série; de $0^{m},270$ pour la deuxième; de $0^{m},400$ pour la troisième. L'observation des principales circonstances du phénomène a été faite à peu près comme pour les séries n°s 12 et 13. On a noté devant chacun des points d'observation dont nous

avons déjà parlé, la hauteur de la première onde du remous et l'instant de son passage. Un opérateur placé à quelques mètres en arrière notait également la hauteur de l'eau dix secondes environ après le passage de cette onde; enfin un dernier opérateur était placé près du barrage par-dessus lequel s'écoulaient les eaux réunies des deux courants, avec mission de consigner à intervalles réguliers de 15 secondes la hauteur de la lame d'eau passant sur ce déversoir. Cette observation se faisait suivant le procédé adopté par M. Boileau (*Traité de la mesure des eaux courantes*). Un tube de verre était appliqué contre la face d'amont du barrage; il descendait jusqu'au fond du canal et était percé à sa partie inférieure d'un petit trou (pl. V, fig. 3). La hauteur à laquelle l'eau s'élevait dans ce tube au-dessus de la crête du barrage a été prise, ainsi que l'a fait M. Boileau pour la charge sous laquelle s'opérait l'écoulement du déversoir.

Expériences de 1859. — En 1857 on n'avait noté que la hauteur et la vitesse de la première onde sans s'occuper de ce qui se passait en arrière. Il importait cependant de savoir comment le profil de la surface du courant se modifiait progressivement sur toute la longueur du canal, et surtout dans quels cas le courant primitif était complétement refoulé vers l'amont ou continuait au contraire à descendre vers l'aval. Afin d'obtenir ces nouvelles données, deux séries d'expériences furent exécutées en adoptant le procédé employé pour les séries nos 9, 10 et 11 (pl. V, fig. 2). Quatre opérateurs furent placés aux points d'observation nos 1, 4, 7 et 10, avec mission d'observer de minute en minute la hauteur de l'eau; ils devaient en même temps noter si le courant se dirigeait vers l'amont ou vers l'aval. Le courant destiné à produire le remous fut encore établi à l'aide de la vanne de prise d'eau placée à 432 mètres de l'origine de la rigole, mais cette vanne fut munie des clapets décrits dans le chapitre 1, de manière à pouvoir établir le courant instantanément. Cette condition n'était pas réalisée dans les expériences de 1857; le temps nécessaire pour lever la vanne était assez notable, et le remous n'atteignait sa hauteur

normale qu'après avoir déjà parcouru un certain espace. Enfin on observait encore en un point situé au milieu de la partie de la rigole dont la pente était de $0^m,0089$ par mètre, c'est-à-dire à 80 mètres en aval du barrage, l'exhaussement progressif de la surface du courant, afin de se rendre compte, comme en 1857, du volume d'eau écoulé à chaque instant.

Caractères principaux du phénomène.

58. Tels sont, d'une manière sommaire, les procédés d'expérimentation employés. Décrivons maintenant la marche générale du phénomène : l'écoulement étant établi d'une manière permanente dans la rigole, supposons que l'on ouvre la deuxième vanne, l'eau qui s'en échappe vient tomber sur celle du courant; elle y produit un exhaussement subit qui se propage immédiatement en amont et en aval. Du côté d'aval, l'onde ainsi produite atteint en quelques secondes le barrage et vient augmenter la lame d'eau qui déversait par-dessus; du côté d'amont, l'onde se propage en remontant le courant. Deux cas différents peuvent se présenter : soit Q le débit du courant établi dans la rigole, que nous appellerons *courant d'amont;* Q′ celui que fournit la vanne, que nous appellerons *courant d'aval;* supposons d'abord que Q′ soit très-petit par rapport à Q; les eaux sorties de la vanne, en tombant dans le courant, seront immédiatement entraînées vers le déversoir; il ne s'en formera pas moins un remous se propageant vers l'amont, mais ce remous sera constitué par les eaux mêmes du courant d'amont refoulées progressivement par l'exhaussement subit qui s'est produit en avant de la vanne; une partie q du débit Q sera donc employée à produire le remous, l'excédant $Q-q$ s'écoulera seul en aval et ira avec le débit Q′ du courant d'aval passer par-dessus le déversoir. La marche progressive du remous n'empêchera pas le courant de se diriger constamment vers l'aval, il sera seulement ralenti.

Supposons maintenant que l'on renouvelle plusieurs fois l'expérience en augmentant graduellement Q′; la hauteur et la vitesse du remous augmenteront également, et il arrivera un moment où l'on aura $q=Q$. A ce moment, les eaux du courant d'amont sont

donc complétement arrêtées par celles du courant d'aval, comme elles le seraient par un obstacle solide; elles deviennent dans toute l'étendue du remous à peu près stagnantes, et celles du courant d'aval s'écoulent seules par-dessus le déversoir. Augmentons encore Q', non-seulement les eaux du courant d'amont seront complétement arrêtées et s'accumuleront à l'amont de la vanne, mais une partie q' de celles du courant d'aval se précipitera elle-même vers l'amont; la masse des eaux du remous qui, dans le premier cas, continuait à se diriger vers l'aval et qui, dans le second, était stagnante, se dirigera donc dans ce dernier cas vers l'amont; il ne s'écoulera par-dessus le déversoir qu'une partie $Q'-q'$ du débit Q'.

59. Tels sont les cas qui peuvent se présenter; ils devront même, si l'on opère sur un canal dont la profondeur va en décroissant vers l'amont, se produire successivement dans une même expérience, pourvu que Q' soit assez considérable. En effet, admettons qu'au début de l'expérience une partie q' des eaux du courant d'aval se précipite vers l'amont, le débit $Q'-q'$ seul s'écoule par-dessus le déversoir, un débit $Q+q'$ s'accumule en amont de la vanne pour former le remous. Au bout d'un certain temps le remous rencontre dans son mouvement de propagation une eau moins profonde; sa vitesse diminue, et sa hauteur ne pouvant augmenter indéfiniment, il faut nécessairement que la partie q' du courant d'aval qui s'écoule vers l'amont aille en diminuant; il arrive donc un moment où $q'=0$ et où le débit d'aval Q' s'écoule en totalité par-dessus le déversoir; les eaux du remous, qui étaient jusqu'alors animées d'une certaine vitesse vers l'amont, s'arrêtent et restent pendant quelques instants stagnantes, puis, la marche du remous se ralentissant encore, une portion q du débit d'amont Q commence à s'écouler, et le courant reprend peu à peu sa marche vers l'aval. On conçoit, du reste, que ce changement de sens du courant ne s'opère pas simultanément sur toute la longueur du canal. Après que le courant a repris partout sa marche vers l'aval, la propagation du remous se ralentit rapidement, le volume $Q-q$ des eaux rete-

nues diminue de même, et, au bout d'un temps plus ou moins long, le courant arrive à un nouvel état permanent, dans lequel son débit est égal à Q en amont de la vanne et à Q + Q′ en aval.

Expériences de 1857.

60. Après ces explications générales, nous allons passer à l'examen des expériences en commençant par celles de 1857. Elles forment trois séries renfermant chacune sept expériences faites avec le même débit d'aval; la vanne était, comme nous l'avons dit plus haut, levée de $0^m,135$ pour la première des trois séries, $0^m,270$ pour la deuxième et $0^m,400$ pour la troisième; la charge a été en moyenne $0^m,79$ sur le seuil de la vanne. Les coefficients de débit applicables aux levées de $0^m,135$, $0^m,270$, $0^m,400$ sont 0,643, 0,633, 0,621[1], et l'on a pour la valeur du débit dans les trois cas, $0^{mc},327$, $0^{mc},613$, $0^{mc},845$; le débit particulier à chaque expérience diffère un peu de ces chiffres, mais ces variations sont sans importance.

Les résultats des expériences sont renfermés dans les tableaux suivants, qui sont semblables à ceux des séries nos 12 et 14.

SÉRIE N° 16.

(9, 10, 13, 15, 29 et 30 juin 1857.) — Débit d'aval : $0^{mc},327$.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
EXPÉRIENCE N° 1.					
Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^m,60$.					
1	0,632	0,05	0,05	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,601	0,05	0,06	8″,5	
3	0,556	0,05	0,05	17″,5	
4	0,529	0,05	0,06	26″,8	
5	0,490	0,06	0,05	36″,0	
6	0,447	0,06	0,06	45″,0	
7	0,399	0,07	0,06	55″,0	
8	0,362	0,08	0,07	65″,5	
9	0,317	0,09	0,09	77″,5	
10	0,273	0,09	0,09	90″,0	
11	0,242	0,09	0,09	103″,8	

[1] Ces coefficients ont été déterminés directement par des expériences de tarage spéciales.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS employé par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
EXPÉRIENCE N° 2. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.					
1	0,426	0,10	0,06	0	
2	0,398	0,11	0,06	10",0	
3	0,357	0,14	0,06	20",0	
4	0,328	0,14	0,06	31",0	
5	0,291	0,14	0,06	42",8	
6	0,243	0,13	0,09	54",8	
7	0,197	0,13	0,10	69",5	L'onde a déferlé aux environs du point d'observation n° 7.
8	0,177	0,09	0,10	88",5	
9	0,125	0,09	0,09	111",9	
10	0,125	0,08	0,05	141",3	
EXPÉRIENCE N° 3. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.					
1	0,247	0,16	0,08	0	
2	0,218	0,16	0,08	14",6	
3	0,187	0,15	0,08	31",4	
4	0,163	0,12	0,07	51",2	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 4.
5	0,141	0,08	0,06	77",7	
6	0,126	0,07	0,05	107",8	
EXPÉRIENCE N° 4. Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.					
1	0,566	0,07	0,05	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,534	0,09	0,05	12",5	
3	0,495	0,09	0,05	21",5	
4	0,471	0,09	0,05	33",0	
5	0,438	0,09	0,05	45",8	
6	0,389	0,08	0,06	58",4	
7	0,343	0,08	0,06	74",6	
8	0,320	0,07	0,07	95",8	
9	0,283	0,06	0,05	117",5	
10	0,262	0,05	0,04	149",0	
11	0,271	0,03	0,03	185",7	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 5.		
			Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,385	0,16	0,10	0	
2	0,356	0,19	0,10	14",0	
3	0,334	0,20	0,09	30",0	
4	0,318	0,16	0,08	48",3	
5	0,290	0,16	0,08	72",0	L'onde a déferlé au point d'observation n° 5.
6	0,271	0,10	0,07	104",3	
7	0,250	0,08	0,04	152",0	
			EXPÉRIENCE N° 6.		
			Débit d'amont : $0^{mc},927$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,658	0,06	0,05	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,634	0,07	0,05	11",0	
3	0,592	0,08	0,05	21",7	
4	0,567	0,08	0,06	33",7	
5	0,530	0,07	0,05	46",2	
6	0,491	0,07	0,06	58",4	
7	0,443	0,06	0,06	74",7	
8	0,417	0,05	0,06	92",0	
9	0,388	0,04	0,05	111",7	
10	0,328	0,03	0,03	135",8	
11	0,342	0,02	0,02	167",0	
			EXPÉRIENCE N° 7.		
			Débit d'amont : $1^{mc},236$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,551	0,14	0,10	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,533	0,13	0,10	14",6	
3	0,497	0,15	0,10	30",6	
4	0,484	0,13	0,10	48",5	
5	0,471	0,10	0,09	71",0	
6	0,410	0,14	0,07	97",0	
7	0,371	0,09	0,06	134",0	

SÉRIE N° 17.

(9, 10, 13, 15, 29 et 30 juin 1857.)

Débit d'aval : $0^{mc},613$.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 1.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},60$.		
1	0,632	0,06	0,08	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,601	0,09	0,10	9",0	
3	0,556	0,09	0,10	18",0	
4	0,529	0,12	0,10	26",8	
5	0,490	0,13	0,10	35",3	
6	0,447	0,15	0,11	44",0	
7	0,399	0,15	0,11	53",5	
8	0,362	0,17	0,13	63",5	
9	0,317	0,18	0,17	74",5	
10	0,273	0,18	0,18	85",7	
11	0,242	0,18	0,17	98",8	
			EXPÉRIENCE N° 2.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,426	0,10	0,10	0	
2	0,398	0,13	0,11	10",6	
3	0,357	0,14	0,11	21",6	
4	0,328	0,15	0,11	31",3	
5	0,291	0,15	0,12	43",0	
6	0,243	0,15	0,13	55",0	
7	0,197	0,15	0,13	69",7	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 7.
8	0,177	0,14	0,14	87",8	
9	0,125	0,14	0,15	105",0	
10	0,125	0,11	0,13	125",5	
11	0,140	0,11	0,10	149",7	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
EXPÉRIENCE N° 5.					
Débit d'amont : 0^{mc},618. — Hauteur du barrage : 0^{m},20.					
1	0,385	0,16	0,10	0	
2	0,356	0,19	0,10	14",0	
3	0,334	0,20	0,09	30",0	
4	0,318	0,16	0,08	48",3	
5	0,290	0,16	0,08	72",0	L'onde a déferlé au point d'observation n° 5.
6	0,271	0,10	0,07	104",3	
7	0,250	0,08	0,04	152",0	
EXPÉRIENCE N° 6.					
Débit d'amont : 0^{mc},927. — Hauteur du barrage : 0^{m},40.					
1	0,658	0,06	0,05	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,634	0,07	0,05	11",0	
3	0,592	0,08	0,05	21",7	
4	0,567	0,08	0,06	33",7	
5	0,530	0,07	0,05	46",2	
6	0,491	0,07	0,06	58",4	
7	0,443	0,06	0,06	74",7	
8	0,417	0,05	0,06	92",0	
9	0,388	0,04	0,05	111",7	
10	0,328	0,03	0,03	135",8	
11	0,342	0,02	0,02	167",0	
EXPÉRIENCE N° 7.					
Débit d'amont : 1^{mc},236. — Hauteur du barrage : 0^{m},20.					
1	0,551	0,14	0,10	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,533	0,13	0,10	14",6	
3	0,497	0,15	0,10	30",6	
4	0,484	0,13	0,10	48",5	
5	0,471	0,10	0,09	71",0	
6	0,410	0,14	0,07	97",0	
7	0,371	0,09	0,06	134",0	

SÉRIE N° 17.

(9, 10, 13, 15, 29 et 30 juin 1857.)

Débit d'aval : $0^{mc},613$.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 1.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},60$.		
1	0,632	0,06	0,08	0	L'onde n'a pas déferlé.
2	0,601	0,09	0,10	9",0	
3	0,556	0,09	0,10	18",0	
4	0,529	0,12	0,10	26",8	
5	0,490	0,13	0,10	35",3	
6	0,447	0,15	0,11	44",0	
7	0,399	0,15	0,11	53",5	
8	0,362	0,17	0,13	63",5	
9	0,317	0,18	0,17	74",5	
10	0,273	0,18	0,18	85",7	
11	0,242	0,18	0,17	98",8	
			EXPÉRIENCE N° 2.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,426	0,10	0,10	0	
2	0,398	0,13	0,11	10",6	
3	0,357	0,14	0,11	21",6	
4	0,328	0,15	0,11	31",3	
5	0,291	0,15	0,12	43",0	
6	0,243	0,15	0,13	55",0	
7	0,197	0,15	0,13	69",7	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 7.
8	0,177	0,14	0,14	87",8	
9	0,125	0,14	0,15	105",0	
10	0,125	0,11	0,13	125",5	
11	0,140	0,11	0,10	149",7	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 3.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,247	0,16	0,13	0	
2	0,218	0,19	0,13	14″,0	
3	0,187	0,15	0,13	28″,0	
4	0,163	0,14	0,12	43″,8	
5	0,141	0,12	0,12	62″,4	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 5.
6	0,126	0,14	0,11	82″,5	
7	0,135	0,12	0,11	108″,7	
8	0,139	0,06	0,06	133″,0	
9	0,112	0,08	0,05	175″,5	
			EXPÉRIENCE N° 4.		
			Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,566	0,09	0,10	0	
2	0,534	0,11	0,10	10″,0	
3	0,495	0,15	0,10	20″,0	
4	0,471	0,19	0,12	31″,0	
5	0,438	0,19	0,13	42″,3	
6	0,389	0,18	0,12	53″,7	
7	0,343	0,16	0,13	67″,5	
8	0,320	0,14	0,13	84″,7	
9	0,283	0,14	0,13	103″,3	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 9.
10	0,262	0,14	0,12	124″,8	
11	0,271	0,11	0,11	153″,0	
			EXPÉRIENCE N° 5.		
			Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,385	0,22	0,16	0	
2	0,356	0,26	0,14	13″,0	
3	0,334	0,25	0,14	26″,8	
4	0,318	0,22	0,13	42″,3	L'onde a déferlé entre les points d'observation nos 3 et 7.
5	0,290	0,25	0,12	60″,5	
6	0,271	0,15	0,11	81″,3	
7	0,250	0,13	0,11	108″,0	
8	0,288	0,10	0,10	138″,2	
9	0,227	0,12	0,08	174″,9	
10	0,244	0,09	0,05	230″,2	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 6.		
			Débit d'amont : $0^{mc},927$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,658	0,09	0,10	0	
2	0,634	0,12	0,11	10",2	
3	0,592	0,17	0,10	21",0	
4	0,567	0,20	0,11	31",8	
5	0,530	0,19	0,13	43",0	
6	0,491	0,19	0,13	54",3	
7	0,443	0,17	0,13	68",0	
8	0,417	0,16	0,14	83",0	
9	0,388	0,20	0,14	101",3	
10	0,328	0,22	0,16	121",8	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 10.
11	0,342	0,15	0,15	149",5	
			EXPÉRIENCE N° 7.		
			Débit d'amont : $1^{mc},236$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,551	0,20	0,20	0	
2	0,533	0,22	0,16	13",0	
3	0,497	0,21	0,15	26",5	
4	0,484	0,25	0,16	42",3	L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 4 et 6.
5	0,471	0,19	0,14	60",0	
6	0,410	0,23	0,13	80",0	
7	0,371	0,19	0,13	105",2	
8	0,415	0,14	0,10	137",0	
9	0,367	0,09	0,06	170",0	
10	0,374	0,06	0,05	219",3	

SÉRIE N° 18.

(9, 10, 13, 15, 29 et 30 juin 1857.)

Débit d'aval : $0^{mc},845$.

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 1.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},60$.		
1	0,632	0,09	0,13	0	
2	0,601	0,09	0,14	8",0	
3	0,556	0,10	0,13	16",8	
4	0,529	0,13	0,14	25",3	
5	0,490	0,15	0,14	34",0	
6	0,447	0,17	0,14	42",5	
7	0,399	0,19	0,15	52",0	
8	0,362	0,21	0,16	61",3	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 8.
9	0,317	0,23	0,23	71",7	
10	0,273	0,20	0,24	82",3	
11	0,242	0,16	0,23	93",8	
			EXPÉRIENCE N° 2.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,426	0,14	0,14	0	
2	0,398	0,17	0,14	9",8	
3	0,357	0,25	0,15	18",9	
4	0,328	0,28	0,16	29",0	
5	0,291	0,22	0,18	40",0	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 5.
6	0,243	0,16	0,16	52",0	
7	0,197	0,15	0,19	63",0	
8	0,177	0,14	0,18	76",4	
9	0,125	0,14	0,19	91",4	
10	0,125	0,14	0,20	108",3	
11	0,140	0,12	0,16	126",7	

NUMÉROS des points d'observation.	PROFONDEUR du COURANT.	HAUTEUR INITIALE du remous.	HAUTEUR DU REMOUS dix secondes après le passage de la première onde.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parvenir à chaque point d'observation.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.	mèt.		
			EXPÉRIENCE N° 3.		
			Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,247	0,20	0,18	0	L'onde a déferlé partout.
2	0,218	0,18	0,18	12",6	
3	0,187	0,16	0,17	25",6	
4	0,163	0,15	0,17	40",0	
5	0,141	0,13	0,16	56",5	
6	0,126	0,14	0,16	72",9	
7	0,135	0,11	0,12	93",3	
8	0,139	0,105	0,10	114",8	
9	0,112	0,10	0,10	139",7	
10	0,119	0,09	0,07	171",2	
			EXPÉRIENCE N° 4.		
			Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.		
1	0,566	0,10	0,13	0	
2	0,534	0,15	0,15	10",8	
3	0,495	0,21	0,14	20",4	
4	0,471	0,26	0,16	30",7	
5	0,438	0,27	0,16	41",3	
6	0,389	0,26	0,17	52",0	
7	0,343	0,26	0,17	65",0	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 7.
8	0,320	0,25	0,20	79",3	
9	0,283	0,20	0,19	95",0	
10	0,262	0,19	0,20	113",2	
11	0,271	0,18	0,19	135",0	
			EXPÉRIENCE N° 5.		
			Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.		
1	0,385	0,25	0,16	0	
2	0,356	0,25	0,16	12",0	L'onde a déferlé à partir du point d'observation n° 2.
3	0,334	0,25	0,16	25",3	
4	0,318	0,22	0,15	40",0	
5	0,290	0,24	0,15	56",2	
6	0,271	0,20	0,15	73",8	
7	0,250	0,24	0,15	96",4	
8	0,288	0,15	0,10	119",6	
9	0,227	0,15	0,10	146",2	
10	0,244	0,10	0,08	185",0	

HAUTEURS DES LAMES D'EAU PASSANT SUR LE DÉVERSOI

INDICATION DES TEMPS COMPTÉS À PARTIR DU COMMENCEMENT de l'expérience.	SÉRIE N° 16.						
	Expérience n° 1.	Expérience n° 2.	Expérience n° 3.	Expérience n° 4.	Expérience n° 5.	Expérience n° 6.	Expérience n° [illegible]
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Avant l'expérience	0,125	0,127	0,132	0,265	0,285	0,355	0,415
15″ après le commencement de l'expérience	0,160	0,170	0,178	0,300	0,310	0,370	0,470
30″	0,165	0,180	0,182	0,299	0,313	0,374	0,475
45″	0,160	0,175	0,180	0,295	0,318	0,380	0,480
1′	0,162	0,173	0,184	0,295	0,317	0,380	0,480
1′ 15″	0,160	0,175	0,195	0,299	0,330	0,384	0,485
1′ 30″	0,165	0,178	0,193	0,300	0,330	0,382	0,490
1′ 45″	0,160	0,173	0,195	0,305	0,338	0,385	0,490
2′	0,160	0,184	0,202	0,300	0,335	0,390	0,490
2′ 15″	0,161	0,185	0,210	0,305	0,345	0,390	0,495
2′ 30″	0,170	0,180	0,208	0,309	0,340	0,394	0,500
2′ 45″	0,172	0,184	0,217	0,309	0,347	0,395	0,500
3′	0,182	0,185	0,225	0,313	0,350	0,400	0,510
3′ 15″	0,180	0,190	0,226	0,315	0,358	0,405	0,510
3′ 30″	0,182	0,195	0,234	0,320	0,360	0,410	0,515
3′ 45″	0,180	0,200	0,235	0,325	0,360	0,407	0,5[illegible]0
4′	0,188	0,220	0,243	0,325	0,363	0,410	0,520
4′ 15″	0,190	0,213	0,240	0,330	0,370	0,408	0,520
4′ 30″	0,197	0,215	0,244	0,332	0,370	0,410	0,520
4′ 45″	0,210	0,223	0,248	0,333	0,365	0,420	0,520
5′	0,215	0,225	0,250	0,337	0,375	0,423	0,525
6′	0,223	0,233	0,247	0,348	0,380	0,420	0,530
7′	0,223	0,235	0,255	0,350	0,370	0,427	0,530
8′	0,226	0,236	0,255	0,350	0,375	"	0,535
9′	0,226	0,239	"	0,351	0,387	"	"
10′	0,233	0,240	"	0,350	"	"	"
11′	0,235	0,240	"	0,350	"	"	"
12′	0,235	0,240	"	0,352	"	"	"

POUR CHACUNE DES EXPÉRIENCES DES SÉRIES N°s 16, 17 ET 18.

SÉRIE N° 17.							SÉRIE N° 18.						
Expérience n° 1.	Expérience n° 2.	Expérience n° 3.	Expérience n° 4.	Expérience n° 5.	Expérience n° 6.	Expérience n° 7.	Expérience n° 1.	Expérience n° 2.	Expérience n° 3.	Expérience n° 4.	Expérience n° 5.	Expérience n° 6.	Expérience n° 7.
mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
0,125	0,127	0,132	0,265	0,285	0,355	0,445	0,125	0,127	0,132	0,265	0,285	0,355	0,445
0,190	0,190	0,210	0,320	0,340	0,400	0,470	0,220	0,230	0,240	0,335	0,350	0,410	0,500
0,195	0,195	0,220	0,320	0,349	0,399	0,490	0,225	0,250	0,252	0,350	0,357	0,430	0,510
0,200	0,210	0,222	0,320	0,350	0,410	0,500	0,230	0,250	0,258	0,350	0,365	0,435	0,520
0,195	0,205	0,225	0,320	0,352	0,405	0,500	0,225	0,245	0,256	0,348	0,370	0,430	0,530
0,200	0,210	0,228	0,330	0,358	0,412	0,507	0,225	0,250	0,260	0,365	0,375	0,440	0,530
0,202	0,215	0,232	0,330	0,365	0,412	0,510	0,230	0,250	0,265	0,364	0,380	0,442	0,535
0,198	0,210	0,237	0,334	0,368	0,425	0,515	0,230	0,255	0,280	0,360	0,387	0,450	0,540
0,205	0,213	0,240	0,340	0,375	0,427	0,530	0,228	0,255	0,280	0,370	0,395	0,450	0,550
0,210	0,223	0,245	0,350	0,380	0,430	0,530	0,232	0,250	0,288	0,372	0,400	0,450	0,555
0,207	0,220	0,258	0,350	0,392	0,435	0,535	0,232	0,260	0,302	0,372	0,420	0,455	0,565
0,210	0,224	0,260	0,349	0,400	0,438	0,540	0,240	0,260	0,315	0,375	0,428	0,455	0,575
0,212	0,230	0,274	0,348	0,405	0,440	0,547	0,250	0,270	0,315	0,378	0,435	0,465	0,580
0,213	0,232	0,278	0,350	0,415	0,448	0,550	0,245	0,280	0,335	0,390	0,440	0,470	0,590
0,215	0,228	0,288	0,358	0,420	0,452	0,560	0,250	0,280	0,340	0,400	0,450	0,480	0,595
0,220	0,238	0,298	0,372	0,433	0 455	0,560	0,252	0,288	0,340	0,405	0,455	0,490	0,600
0,225	0,240	0,297	0,380	0,437	0,460	0,565	0 260	0,288	0,340	0,415	0,450	0,492	0,600
0,240	0,252	0,304	0,379	0,428	0,465	0,570	0,270	0,300	0,358	0,427	0,360	0,495	0,600
0,252	0,260	0,310	0,400	0,435	0,480	0,580	0,295	0,310	0,362	0,440	0,465	0,510	0,615
0,270	0,265	0,313	0,400	0,440	0,485	0,580	0,318	0,340	0,367	0,450	0,475	0,530	0,620
0,278	0,278	0,315	0,405	0,438	0,487	0,585	0,335	0,345	0,370	0,465	0,475	0,532	0,620
0,297	0,305	0 330	0,420	0,445	0,502	0,590	0,340	0,366	"	0,475	0,490	0,545	0,640
0,300	0,300	0,330	0,414	0,455	0,505	0,590	0,347	0,374	"	0,485	0,495	0,555	0,640
0,300	0,308	0,342	0,417	0,450	0,505	0,595	0,353	0,385	"	0,492	0,500	0,553	0,640
0,305	0,311	0,340	0,428	0,455	0,508	"	0,349	0,383	"	0,500	"	0,555	"
0,315	0,316	0,343	0,432	0,455	0,515	"	0,362	0,392	"	0,500	"	0,565	"
0,310	0,315	0,344	"	0,455	0,517	"	0,369	0,396	"	"	"	0,564	"
0,313	0,320	0,345	"	0,460	0,517	"	0,369	0,395	"	"	"	0,567	"

62. En examinant la succession des charges mesurées pour chaque expérience, on aperçoit promptement des différences importantes. Si l'on considère d'abord une expérience dans laquelle le débit du courant d'amont soit considérable, et au contraire celui du courant d'aval relativement faible, par exemple, l'expérience n° 7 de la série n° 16, les charges vont en croissant d'une manière continue; si, au contraire, on se place dans les conditions inverses, c'est-à-dire si le débit d'amont est faible relativement à celui d'aval, on aperçoit dans la marche croissante des charges un temps d'arrêt bien marqué. Prenons pour exemple l'expérience n° 1 de la série n° 18. La charge qui était, avant l'expérience, de $0^m,125$, s'élève subitement, dès que l'écoulement est établi à $0,^m22$ ou $0,^m23$, puis elle paraît rester à peu près stationnaire pendant $2'45''$; à ce moment un nouvel accroissement de $0^m,01$ à $0^m,02$ se manifeste, puis la charge reste de nouveau stationnaire pendant une minute; enfin, 4 minutes après le commencement de l'expérience, la marche ascensionnelle reprend avec rapidité; en une minute elle augmente de $0,^m075$, puis continue ensuite à croître, mais lentement, pour s'arrêter à $0^m,369$.

La raison de ce temps d'arrêt est facile à comprendre. Le courant primitif ayant peu de vitesse et une assez grande profondeur, l'eau du courant d'aval se partage en deux parties : l'une s'échappe immédiatement par le déversoir, l'autre se précipite vers l'amont en refoulant les eaux du courant. L'onde ainsi produite pouvant se propager avec une vitesse presque constante pendant deux ou trois minutes, le partage des eaux qui s'est établi dès le début et, par suite, la charge du déversoir restent à peu près invariables. Cet état de choses persiste jusqu'à ce que l'onde, étant arrivée à l'extrémité de la partie profonde du canal, rencontre un courant plus rapide et moins profond qui s'oppose à sa marche; elle s'arrête alors en subissant une sorte de réflexion partielle, par suite de laquelle les eaux qui s'étaient portées vers l'amont se trouvent de nouveau refoulées vers l'aval. Le courant reprend partout sa direction primitive, et la charge du déversoir augmente subitement.

Les effets que nous venons de décrire sommairement pour les deux cas extrêmes, c'est-à-dire pour l'expérience n° 7, série n° 16, dans laquelle le courant n'est jamais remonté vers l'amont, et pour l'expérience n° 1, série n° 18, se reproduisent à un degré plus ou moins marqué dans toutes les autres.

Expériences de 1859.

63. Passons maintenant aux séries nos 19 et 20. Les procédés d'expérimentation ont déjà été décrits au commencement de ce chapitre : quatre observateurs à poste fixe notaient les hauteurs successives du remous et le sens dans lequel se dirigeait le courant. La forme des tableaux est la même que pour les séries nos 9, 10 et 11; les colonnes nos 6, 7, 8 et 9 indiquent les hauteurs successives du remous 1′, 2′, 3′ et 4′ après le commencement de l'expérience; la colonne n° 10 indique la hauteur de l'eau au-dessus de son niveau primitif à la fin de l'expérience, qui durait habituellement 10 minutes; ce temps suffisait pour que le régime des deux courants réunis parvînt à un état à peu près permanent. Le sens du courant en chaque point a été désigné de la manière suivante : le chiffre indiquant la hauteur du remous est accompagné du signe *, lorsque le courant se dirigeait vers l'amont; l'absence de ce signe indique que le courant se dirigeait vers l'aval. Ainsi dans l'expérience n° 1 (série n° 19), à la fin de la première minute, le courant remontait vers l'amont aux deux premiers points d'observation nos 1 et 4, et descendait vers l'aval aux deux autres, nos 7 et 10; à la fin de la deuxième minute, il remontait vers l'amont aux trois premiers points et redescendait vers l'aval au quatrième, et ainsi de suite.

Un barrage de hauteur variable était établi à 450 mètres de l'origine de la rigole comme pour les séries précédentes.

SÉRIE N° 19.

(15, 16, 17, 18 et 20 juin 1859.)

Débit d'aval : $0^{mc},552$.

DÉSIGNATION des points d'observation.	PROFONDEUR de l'eau avant l'arrivée du remous.	HAUTEUR initiale du remous.	TEMPS employé par le remous pour arriver à chacun des points d'observation.	TEMPS employé par le remous pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'EAU au-dessus de son niveau primitif et sens du courant après un intervalle de temps de 1′.	de 2′.	de 3′.	de 4′.	HAUTEUR de l'eau au-dessus de son niveau primitif à la fin de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
EXPÉRIENCE N° 1. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},60$.										
1	0,477	0,13	14″,7	27″,3	*0,10	*0,11	*0,12	0,19	0,24	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,392	0,12	42″,0	31″,3	*0,10	*0,11	*0,12	0,19	0,23	
7	0,308	0,12	73″,3	37″,4	0	*0,10	0,17	0,18	0,23	
10	0,238	0,10	110″,7		0	0,10	0,17	0,17	0,21	
EXPÉRIENCE N° 2. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.										
1	0,290	0,15	16″,0	36″,3	*0,12	*0,14	*0,17	0,20	0,25	L'onde a déferlé aux environs du point d'observ. n° 7.
4	0,218	0,18	52″,3	48″,0	0,15	0,16	0,17	0,19	0,235	
7	0,158	0,10	100″,3	61″,0	0	0,11	0,14	0,17	0,20	
10	0,167	0,05	161″,3		0	0	0,06	0,08	0,11	
EXPÉRIENCE N° 3. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.										
1	0,144	0,13	23″,8	53″,3	*0,17	*0,20	0,24	0,26	0,295	L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 1 et 4.
4	0,152	0,10	77″,1	66″,1	0	0,12	0,15	0,17	0,20	
7	0,148	0,05	143″,2	96″,8	0	0	0,06	0,09	0,12	
10	0,168	0,02	240″,0		0	0	0	0	0,035	

DÉSIGNATION des points d'observation.	PROFONDEUR de l'eau avant l'arrivée du remous.	HAUTEUR initiale du remous.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour arriver à chacun des points d'observation.	TEMPS EMPLOYÉ par le remous pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'EAU AU-DESSUS de son niveau primitif et sens du courant après un intervalle de temps de 1′.	de 2′.	de 3′.	de 4′.	HAUTEUR de l'eau au-dessus de son niveau primitif à la fin de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
EXPÉRIENCE N° 4. Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},60$.										
1	0,625	0,13	14″,7	27″,6	0,10	0,12	0,14	0,19	0,22	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,557	0,14	42″,3	30″,5	0,10	0,11	0,16	0,18	0,21	
7	0,477	0,10	72″,8	36″,6	0	0,10	0,15	0,16	0,20	
10	0,418	0,08	109″,4		0	0,06	0,14	0,145	0,18	
EXPÉRIENCE N° 5. Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.										
1	0,413	0,20	15″,5	38″,5	0,13	0,14	0,17	0,19	0,23	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,358	0,15	54″,0	48″,7	0,13	0,14	0,16	0,17	0,21	
7	0,308	0,10	102″,7	64″,8	0	0,10	0,11	0,12	0,18	
10	0,317	0,05	167″,5		0	0	0,04	0,05	0,11	
EXPÉRIENCE N° 6. Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.										
1	0,273	0,20	27″,0	55″,1	0,18	0,22	0,24	0,25	0,27	L'onde a déferlé un instant aux environs du point d'observation n° 1.
4	0,303	0,14	82″,1	64″,9	0	0,11	0,14	0,15	0,165	
7	0,301	0,06	147″,0	73″,0	0	0	0,06	0,07	0,10	
10	0,316	0,05	220″,0		0	0	0	0,05	0,08	
EXPÉRIENCE N° 7. Débit d'amont : $1^{mc},236$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.										
1	0,415	0,32	23″,5	54″,4	0,22	0,25	0,26	0,27	0,29	L'onde a déferlé un instant aux environs du point d'observation n° 1.
4	0,458	0,17	77″,9	60″,9	0	0,14	0,15	0,16	0,19	
7	0,462	0,08	138″,8	83″,2	0	0	0,09	0,095	0,13	
10	0,483	0,07	222″,0		0	0	0	0,04	0,07	

SÉRIE N° 20.

(15, 16, 17, 18 et 20 juin 1859.)

Débit d'aval : $0^{mc},828$.

Désignation des points d'observation.	Profondeur de l'eau avant l'arrivée du remous.	Hauteur initiale du remous.	Temps employé par le remous : pour arriver à chacun des points d'observation.	Temps employé par le remous : pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	Hauteur de l'eau au-dessus de son niveau primitif et sens du courant après un intervalle de temps : de 1′.	de 2′.	de 3′.	de 4′.	Hauteur de l'eau au-dessus de son niveau primitif à la fin de l'expérience.	Observations.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
EXPÉRIENCE N° 1. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},60$.										
1	0,477	0,14	15″,0	27″,4	*0,12	*0,15	*0,17	0,27	0,315	L'onde a déferlé entre les points d'observation n°s 7 et 10.
4	0,392	0,16	42″,4	30″,6	*0,12	*0,15	*0,24	0,25	0,31	
7	0,308	0,15	73″,0	34″,8	0	*0,14	0,245	0,27	0,30	
10	0,238	0,14	107″,8		0	0,10	0,23	0,235	0,295	
EXPÉRIENCE N° 2. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.										
1	0,290	0,18	16″,9	34″,6	*0,15	*0,18	*0,21	0,25	0,34	L'onde a partout déferlé.
4	0,218	0,10	51″,5	41″,1	*0,10	*0,18	*0,21	0,27	0,33	
7	0,158	0,10	92″,6	50″,6	0	*0,15	*0,20	0,25	0,29	
10	0,167	0,10	143″,2		0	0	0,15	0,15	0,20	
EXPÉRIENCE N° 3. Débit d'amont : $0^{mc},203$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.										
1	0,144	0,15	22″,5	47″,0	*0,19	*0,24	*0,28	0,31	0,37	L'onde a déferlé partout sauf aux environs du point d'observation n° 10.
4	0,152	0,11	69″,5	56″,1	0	*0,16	*0,20	0,22	0,27	
7	0,148	0,10	125″,6	72″,1	0	0	*0,10	0,14	0,19	
10	0,168	0,04	197″,7		0	0	0	0,04	0,09	

DÉSIGNATION des points d'observation.	PROFONDEUR de l'eau avant l'arrivée du remous.	HAUTEUR initiale du remous.	TEMPS employé par le remous pour arriver à chacun des points d'observation.	TEMPS employé par le remous pour parcourir l'espace compris entre deux points d'observation.	HAUTEUR DE L'EAU au-dessus de son niveau primitif et sens du courant après un intervalle de temps de 1′.	de 2′.	de 3′.	de 4′.	HAUTEUR de l'eau au-dessus de son niveau primitif à la fin de l'expérience.	OBSERVATIONS.
	mèt.	mèt.			mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	
EXPÉRIENCE N° 4. Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},40$.										
1	0,413	0,26	16″,8	35″,7	0,18	0,20	0,22	0,26	0,32	L'onde n'a déferlé nulle part.
4	0,358	0,24	52″,5	42″,5	0,21	0,23	0,24	0,25	0,31	
7	0,308	0,23	95″,0	53″,5	0	0,15	0,18	0,21	0,265	
10	0,317	0,15	148″,5		0	0	0,10	0,15	0,19	
EXPÉRIENCE N° 5. Débit d'amont : $0^{mc},618$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.										
1	0,273	0,23	23″,9	48″,5	0,24	0,26	0,30	0,33	0,37	L'onde a déferlé entre les points d'observation nos 1 et 4.
4	0,303	0,20	72″,4	55″,2	0	0,15	0,19	0,22	0,25	
7	0,301	0,11	127″,6	66″,4	0	0	0,11	0,13	0,18	
10	0,316	0,10	194″,0		0	0	0	0,05	0,12	
EXPÉRIENCE N° 6. Débit d'amont : $1^{mc},236$. — Hauteur du barrage : $0^{m},20$.										
1	0,415	0,29	22″,8	47″,9	0,26	0,29	0,32	0,34	0,38	L'onde a déferlé entre les points d'observation nos 1 et 4.
4	0,458	0,25	70″,7	53″,1	0	0,21	0,22	0,23	0,27	
7	0,462	0,14	123″,8	61″,2	0	0	0,15	0,16	0,20	
10	0,483	0,06	185″,0		0	0	0	0,06	0,12	

64. Il faut encore joindre à ces tableaux ceux qui renferment l'indication des hauteurs mesurées en un point situé à 80 mètres en aval du déversoir. La constatation de ces hauteurs successives avait le même but que celle des charges du déversoir dans les ex-

périences de 1857; c'était de déterminer le volume d'eau qui s'écoulait à chaque instant. L'observation de ces hauteurs a eu lieu de la manière suivante : un des flotteurs à cadran, déjà plusieurs fois employés dans le cours de ces expériences, était placé à côté de la rigole de manière à indiquer toutes les variations du niveau de l'eau. L'observateur placé à ce point notait les exhaussements du niveau de l'eau indiqués par le flotteur de minute en minute jusqu'à la fin de l'expérience. On a toujours eu soin, en outre, de contrôler les indications du flotteur en mesurant directement la profondeur du courant.

SÉRIE N° 19.

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	EXPÉRIENCE n° 1.	EXPÉRIENCE n° 2.	EXPÉRIENCE n° 3.	EXPÉRIENCE n° 4.	EXPÉRIENCE n° 5.	EXPÉRIENCE n° 6.	EXPÉRIENCE n° 7.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Profondeur moyenne du courant avant l'expérience.....	0,091	0,091	0,091	0,180	0,180	0,180	0,286
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la première minute...	0,035	0,038	0,039	0,030	0,030	0,035	0,028
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la deuxième minute...	0,042	0,056	0,062	0,036	0,039	0,050	0,046
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la troisième minute..	0,047	0,062	0,078	0,046	0,049	0,065	0,061
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la quatrième minute..	0,052	0,070	0,089	0,065	0,074	0,073	0,070
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la cinquième minute..	0,093	0,098	0,100	0,078	0,085	0,080	0,077
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la sixième minute....	0,095	0,102	0,105	0,088	0,089	0,086	0 083
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la septième minute...	0,097	0,106	0,108	0,089	0,090	0,088	0,086
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la huitième minute...	0,108	0,112	0,110	0,091	0,091	0,089	0,087
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la neuvième minute..	0,111	0,113	0,112	0,092	0,093	0,091	0,088
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la dixième minute...	0,112	0,114	0,114	0,093	0,094	0,092	0,089

SÉRIE N° 20.

DÉSIGNATION DES EXPÉRIENCES.	EXPÉRIENCE n° 1.	EXPÉRIENCE n° 2.	EXPÉRIENCE n° 3.	EXPÉRIENCE n° 4.	EXPÉRIENCE n° 5.	EXPÉRIENCE n° 6.
	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.	mèt.
Profondeur moyenne du courant avant l'expérience.....	0,091	0,091	0,091	0,180	0,180	0,286
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la première minute...	0,049	0,052	0,054	0,046	0,047	0,038
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la deuxième minute....	0,058	0,065	0,076	0,056	0,064	0,062
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la troisième minute...	0,067	0,076	0,093	0,070	0,084	0,079
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la quatrième minute..	0,0[illegible]5	0,092	0,108	0,080	0,095	0,093
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la cinquième minute..	0,135	0,122	0,122	0,100	0,105	0,103
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la sixième minute....	0,136	0,137	0,130	0,112	0,114	0,111
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la septième minute...	0,138	0,140	0,138	0,116	0,120	0,116
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la huitième minute...	0,152	0,142	0,141	0,120	0,121	0,118
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la neuvième minute..	0,153	0,148	0,144	0,122	0,124	0,119
Exhaussement indiqué par le flotteur à la fin de la dixième minute...	0,154	0,150	0,150	0,124	0,125	0,122

65. Il est très facile de déduire de ces données la valeur approximative du débit à chaque instant. La partie du canal dans

laquelle on observait ces hauteurs était recouverte de liteaux de $0^m,027$ de largeur et $0^m,01$ d'épaisseur, cloués transversalement à $0^m,01$ d'intervalle[1].

Aux débits	$0^{mc},203$	correspondaient les profondeurs	$0^m,091$
———	0 ,411	*idem*.....	0 ,140
———	0 ,618	*idem*.....	0 ,180
———	0 ,824	*idem*.....	0 ,217
———	1 ,030	*idem*.....	0 ,252
———	1 ,236	*idem*.....	0 ,286

Les débits cherchés n'ayant pas besoin d'être déterminés avec une bien grande précision, on peut les obtenir par une simple interpolation : on connaîtra ainsi le volume qui s'écoulait par-dessus le barrage, et, en le déduisant de la somme $Q+Q'$ des débits d'amont et d'aval, on obtiendra approximativement le débit employé à constituer le remous. Si ce débit est supérieur au débit d'amont Q, le courant doit remonter vers l'amont. En effectuant les calculs, on reconnaît qu'il en sera ainsi pour les trois premières expériences de chacune des deux séries, et c'est en effet ce que confirme l'examen des tableaux ci-dessus.

Calcul de la vitesse de propagation.

66. Les explications précédentes font suffisamment connaître les caractères généraux du phénomène; examinons maintenant comment l'on peut calculer la vitesse de propagation du remous en réunissant les résultats des cinq séries. Nous essayerons d'abord de reconnaître si sa vitesse peut être représentée, comme dans tous les cas analogues que nous avons déjà rencontrés, par la formule $V=\sqrt{g(H+h)}-U$, les lettres V, H, h, U conservant toujours les mêmes significations que plus haut. Afin de ne pas donner à ces comparaisons numériques un trop grand développement, nous calculerons simplement le temps employé par le remous à parcourir chacun des trois intervalles de 60 mètres compris entre les points n°s 1, 4, 7 et 10.

[1] Voir, pour les expériences faites sur cette partie de la rigole, *Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts*, 2e partie, chap. I, série n° 14.

NUMÉROS des expériences.	1er INTERVALLE. Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	2e INTERVALLE. Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	3e INTERVALLE. Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	OBSERVATIONS.
				SÉRIE N° 16.						
1	26",3	26",8	−0",5	29",1	28",2	+0",9	34",8	35",0	−0",2	
2	31",2	31",0	+0",2	38",1	38",5	−0",4	73",2	71",8	+1",4	
3	45",5	51",2	−5",7	"	"	"	"	"	"	
4	33",2	33",0	+0",2	42",0	41",6	+0",4	72",6	74",4	−1",8	
5	44",0	48",3	−4",3	70",5	103",7	−33",2	"	"	"	Déferlé dans le 2e intervalle.
6	33",1	33",7	−0",6	41",3	41",0	+0",3	70",2	61",1	+9",1	
7	45",9	48",5	−2",6	71",1	85",5	−14",4	"	"	"	
				SÉRIE N° 17.						
1	25",4	26",8	−1",4	27",1	26",7	+0",4	31",1	32",2	−1",1	
2	30",9	31",3	−0",4	37",2	38",4	−1",2	62",5	55",8	+6",7	Déferlé dans le 3e intervalle.
3	44",3	43",8	+0",5	68",2	64",9	+3",3	"	"	"	Déferlé dans le 2e.
4	31",6	31",0	+0",6	36",6	36",5	+0",1	58",1	57",3	+0",8	Déferlé dans le 3e.
5	40",3	42",3	−2",0	59",6	65",7	−6",1	94",4	122",2	−27",8	Déferlé dans le 2e.
6	30",8	31",8	−1",0	35",6	36",2	−0",6	50",2	53",8	−3",6	
7	41",1	42",3	−1",2	57",1	62",9	−5",8	106",1	114",1	−8",0	*Idem.*
				SÉRIE N° 18.						
1	25",2	25",3	−0",1	26",4	26",7	−0",3	29",8	30",3	−0",5	Déferlé dans le 3e intervalle.
2	28",5	29",0	−0",5	35",1	34",0	+1",1	61",1	45",3	+15",8	Déferlé dans les 2e et 3e.
3	43",7	40",0	+3",7	67",6	53",3	+14",3	90",6	77",9	+12",7	Déferlé dans les 1er, 2e et 3e.
4	30",2	30",7	−0",5	33",2	34",3	−1",1	49",7	48",2	+1",5	Déferlé dans le 3e.
5	40",2	40",0	+0",2	54",1	56",4	−2",3	81",8	88",6	−6",8	Déferlé dans les 2e et 3e.
6	30",0	30",5	−0",5	32",8	34",5	−1",7	46",4	47",6	−1",2	Déferlé dans le 3e.
7	37",2	38",8	−1",6	49",2	53",9	−4",7	74",1	79",2	−5",1	Déferlé dans le 2e.

numéros des expériences.	1er INTERVALLE. Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	2e INTERVALLE. Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	3e INTERVALLE. Temps calculés.	Temps observés.	Différence.	OBSERVATIONS.
					SÉRIE N° 19.					
1	28",8	27",3	+ 1",5	32",3	31",3	+ 1",0	38",5	37",4	+ 1",1	
2	37",5	36",3	+ 1",2	48",7	48",0	+ 0",7	66",8	61",0	+ 5",8	Déferlé dans les 2e et 3e inter.
3	66",1	53",3	+ 12",8	74",4	66",1	+ 8",3	82",3	96",8	— 14",5	Déferlé dans le 1er.
4	28",3	27",6	+ 0",7	31",5	30",5	+ 1",0	37",5	36",6	+ 0",9	
5	39",5	38",5	+ 1",0	50",6	48",7	+ 1",9	62",7	64",8	— 2",1	
6	58",4	55",1	+ 3",3	62",5	64",9	— 2",4	67",9	73",0	— 5",1	
7	52",4	54",4	— 2",0	57",1	60",9	— 3",8	59",7	83",2	— 23",5	
					SÉRIE N° 20.					
1	28",1	27",4	+ 0",7	31",0	30",6	+ 0",4	36",5	34",8	+ 1",7	Déferlé dans le 3e intervalle.
2	39",2	34",6	+ 4",6	53",3	41",1	+ 12",2	61",4	50",6	+ 10",8	Déferlé dans les 1er, 2e et 3e.
3	63",1	47",0	+ 16",1	66",3	56",1	+ 10",2	70",9	72",1	— 1",2	Déferlé dans les 1er et 2e.
4	35",9	35",7	+ 0",2	42",0	42",5	— 0",5	48",9	53",5	— 4",6	
5	53",1	48",5	+ 4",6	55",0	55",2	— 0",2	59",5	66",4	— 6",9	Déferlé dans le 1er.
6	50",2	47",9	+ 2",3	50",5	53",1	— 2",6	56",9	61",2	— 4",3	*Idem.*

Parmi les nombreuses valeurs calculées dans le tableau précédent, la plupart concordent avec les résultats de l'expérience; quelques-unes cependant en diffèrent d'une manière sensible. Dans les expériences où il y a eu déferlement, la formule

$$V = \sqrt{g(H+h)} - U$$

donne, ainsi qu'on a pu déjà le reconnaître dans tous les cas semblables, des vitesses trop petites. Dans quelques autres expériences, savoir : les expériences nos 3, 5 et 7 (série n° 16); nos 5 et 7 (série

n° 17), etc. les vitesses calculées sont, au contraire, trop grandes. Il faut remarquer que ces différences ont lieu dans les cas où la vitesse était presque toujours inférieure à un mètre par seconde, et nous avons déjà vu dans le chapitre 1er que, lorsqu'une onde remonte un courant avec une vitesse faible, la formule

$$V = \sqrt{g(H+h)} - U$$

ne paraît plus complétement applicable et fournit des vitesses trop grandes; il faut encore remarquer que l'onde est alors très-difficile à apercevoir et que l'on ne peut noter le moment de son passage d'une manière bien précise; sa présence n'étant annoncée que par un léger exhaussement qui se manifeste graduellement à la surface de l'eau, les temps observés sont nécessairement trop longs, ce qui tend encore à augmenter les divergences signalées.

67. La formule $V = \sqrt{g(H+h)} - U$ est donc applicable, sauf les exceptions que nous venons de constater; si l'on désigne par q le débit qui s'accumule en amont de la vanne pour former le remous[1], on a :

$$h = K\frac{q}{V}$$

K étant un coefficient ordinairement plus grand que l'unité, puisque la hauteur de l'onde initiale surpasse la hauteur moyenne du remous. On a donc :

$$V = \sqrt{g\left(H + K\frac{q}{V}\right)} - U$$

ou, en faisant disparaître le radical et posant $\frac{q}{H} = U'$,

$$V(V+U)^2 - gH(V+KU') = 0$$

cette équation, dans laquelle U' désigne la vitesse qui s'établirait dans le canal s'il débitait le volume q, est tout à fait analogue à l'équation (1) du chapitre précédent. Elle fera connaître V dès que q sera connu.

[1] Il ne s'agit pas ici du débit total, mais du débit par mètre de largeur, qui se déduirait du débit total, en le divisant par la largeur du canal, dont nous faisons abstraction.

La valeur de q peut être déterminée dans les expériences qui nous occupent de la manière suivante : dans les trois séries n°s 16, 17 et 18, on a observé les charges du déversoir de 15″ en 15″; il règne, il est vrai, une certaine incertitude sur la valeur du coefficient à employer dans le calcul du débit. Cependant si l'on ne considère pas des charges trop éloignées de la charge initiale, on peut admettre que les débits correspondants sont entre eux comme les puissances $\frac{3}{2}$ des charges. Prenons pour exemple l'expérience n° 1 (série n° 16); la charge initiale est $0^{m},125$, le débit étant $0^{mc},203$; la charge moyenne pendant la première minute est $0^{m},1617$; le débit qui passe sur le déversoir sera $0^{mc},203 \times \frac{0,1617^{\frac{3}{2}}}{0,125^{\frac{3}{2}}} = 0^{mc},299$; d'un autre côté, le débit fourni par la vanne étant $0^{mc},327$, celui qui s'accumule pour former le remous est donc $0^{mc},203 + 0^{mc},327 - 0^{mc},299 = 0^{mc},231$.

On a vu plus haut qu'il était encore plus facile d'obtenir une valeur approchée de q pour les deux séries n°s 19 et 20.

On peut aussi calculer approximativement le volume q engendré par l'onde au moyen des vitesses et des hauteurs consignées dans les tableaux de chaque série. Les valeurs obtenues par ces divers procédés concordent assez bien et l'on constate que q dépend surtout du débit d'aval et reste presque constant pour les expériences d'une même série. On a ainsi à fort peu près :

DÉSIGNATION DES SÉRIES.	DÉBIT D'AVAL.	VOLUME ENGENDRÉ par l'onde ou augmentation de volume du remous par seconde pendant la première minute.
	m. c.	m. c.
Série n° 16	0,327	0,215
Série n° 17	0,613	0,410
Série n° 18	0,845	0,565
Série n° 19	0,552	0,415
Série n° 20	0,828	0,590

La résolution de l'équation complète du troisième degré serait assez longue et pénible; mais on peut, ainsi qu'on l'a déjà fait dans les chapitres précédents, lui substituer une formule plus simple et suffisamment approchée :

$$V=\sqrt{gH}+\frac{3}{5}U'-U$$

U' désignant comme plus haut la vitesse qui existerait dans le canal si avec la profondeur H il débitait le volume q.

68. Appliquons maintenant cette formule aux expériences précédentes. Le débit q ne peut être déterminé avec une exactitude suffisante que dans la première minute de chaque expérience; la figure de la surface du remous n'est pas connue, en effet, avec assez de précision pour qu'il soit possible de déterminer vers la fin de chaque expérience le volume d'eau accumulé. Nous restreindrons donc ces calculs comparatifs à la première période, pendant laquelle les éléments de l'expérience sont le mieux connus, c'est-à-dire que nous calculerons pour chacune d'elles le temps employé par l'onde à parcourir l'espace de 60 mètres compris entre les points d'observation n°s 1 et 4, en adoptant les valeurs moyennes de q indiquées précédemment pour chaque série.

NUMÉROS des expériences.	SÉRIE N° 16.		SÉRIE N° 17.		SÉRIE N° 18.		SÉRIE N° 19.		SÉRIE N° 20.	
	TEMPS calculés.	TEMPS observés.	TEMPS calculés.	TEMPS observés	TEMPS calculés.	TEMPS observés.	TEMPS calculés.	TEMPS observés.	TEMPS calculés.	TEMPS observés.
1	26",1	26",8	25",0	26",8	24",2	25",3	28",7	27",3	27",1	27",4
2	33",3	31",0	30",7	31",3	28",8	29",0	36",6	36",3	32",6	34",6
3	49",9	51",2	40",4	43",8	35",0	40",0	44",5	53",3	35",2	47",0
4	34",2	33",0	32",2	31",0	30",7	30",7	29",0	27",6	38",1	35",7
5	53",3	48",3	46",4	42",3	42",0	40",0	41",5	38",5	49",7	48",5
6	33",8	33",7	32",1	31",8	30",9	30",5	58",5	55",1	57",6	47",9
7	51",8	48",5	47",3	42",3	44",2	38",8	65",1	54",4	"	"

On voit que les résultats du calcul et ceux de l'expérience s'accordent entre eux aussi bien que le permet l'incertitude qui existe nécessairement sur la valeur de q; ils ne diffèrent notablement que pour les expériences n°s 5 et 7 (série n° 16), n° 7 (série n° 17), etc. où la formule fondamentale $V = \sqrt{g(H+h)} - U$ est elle-même en défaut.

Condition du déferlement.

69. Il faut encore poser, comme dans les chapitres précédents, la condition nécessaire pour qu'il y ait déferlement. La hauteur h de l'onde au moment où le déferlement va se produire étant presque égale à la profondeur H, sa vitesse V est $\sqrt{2gH} - U$; d'un autre côté sa hauteur h est, en faisant $K = 1$,

$$h = \frac{q}{\sqrt{2gH} - U}$$

On doit donc avoir, pour qu'il y ait déferlement,

$$\frac{q}{\sqrt{2gH} - U} > H$$

ou, en désignant par U', comme plus haut, la vitesse que produirait dans le canal l'écoulement du volume q avec la hauteur H,

$$U + U' > \sqrt{2gH}$$

L'examen détaillé des expériences rapportées dans ce chapitre fait voir que le déferlement se produit, en effet, dès que $U + U'$ approche de $\sqrt{2gH}$, sans que toutefois il soit possible d'assigner une limite précise à laquelle se manifeste l'apparition de ce phénomène.

CHAPITRE V.

CONSIDÉRATIONS SUR LE MASCARET ET SUR LA PROPAGATION DE LA MARÉE DANS LES FLEUVES.

70. La propagation de la marée dans la partie maritime des fleuves est quelquefois accompagnée d'un phénomène fort remarquable, auquel on a donné, suivant les pays, le nom de *mascaret*, de *barre*, etc. L'arrivée du flot, au lieu de s'annoncer simplement par un exhaussement lent et graduel des eaux, se manifeste par une première lame très-forte, qui semble rouler avec fracas en balayant tout ce qui se trouve sur son passage. Cette lame, qui s'avance rapidement en occupant toute la largeur du fleuve, peut avoir jusqu'à deux et même trois mètres de hauteur sur la Seine et la Dordogne; sur le Gange et la rivière des Amazones elle dépasse, dit-on, 5 mètres.

Mascaret du Gange.

71. Le Routier des Indes orientales, par le Prédour[1], contient la description suivante du mascaret de l'Hoogly (l'une des bouches du Gange).

« Le bore (mascaret) s'aperçoit d'abord sur le banc du Diamant, « plus bas que le port du même nom, puis il devient plus appa- « rent sur les bancs de sable de la pointe de Hoogly à quelques « lieues plus haut, où il éprouve une forte résistance par le détour « subit de la rivière à l'ouest; de là il remonte par-dessus tous les « principaux bancs de sable jusqu'à la ville de Hoogly, qui est à « 70 milles plus haut, et il met quatre heures à parcourir cette « distance; ordinairement il fait 20 milles à l'heure.

« Sur les sables contigus aux bancs de la rivière le bore oc- « casionne une lame qui a quelquefois 12 ou 15 pieds d'élévation, « et s'avance avec un grand bruit qui annonce le commencement « du flot; il entraîne tous les corps flottants qui sont sur son pas-

[1] *Instructions nautiques sur les mers de l'Inde*, t. II, p. 364.

« sage et chavire toutes les petites embarcations qui sont sur les « bancs ou sur les petits fonds voisins. De jour, on le voit à grande « distance; le bruit qu'il cause indique son approche pendant la « nuit; alors tous les canots qui sont sur un petit brassiage nagent « promptement pour atteindre une plus grande profondeur, où ils « sont en sûreté, attendu que la lame ne déferle pas sur les grands « fonds, la mer y est seulement agitée.

« A Calcutta, le rivage est accore, et l'on trouve auprès une « grande profondeur; toutes les embarcations ne quittent pas la « côte lorsque le bore approche; les personnes qui les montent « jettent une amarre à terre, et halent leurs embarcations aussi « haut que possible quand elles sont soulevées par le bore, que « j'ai vu atteindre en un instant le niveau d'une marée ordinaire.

« Les Européens doivent être prudents pendant la nuit lors- « qu'ils traversent la rivière dans des embarcations au moment de « la basse mer, dans les syzygies, époques où le bore arrive le plus « communément; ils doivent se tenir par une grande eau, car s'il « survenait pendant qu'ils seraient échoués sur un banc ou par un « petit brassiage, ils courraient les plus grands dangers. »

Mascaret du fleuve des Amazones.

72. Le mascaret se produit également sur la rivière des Amazones avec une grande violence [1]. D'après Lacondamine, c'est entre Matupa et le cap Nord, dans cette partie où le chenal de la rivière est rétréci par des îles, et principalement en face de l'embouchure de l'Awawary, qui se jette dans l'Amazone sur la rive nord, que le phénomène se manifeste avec le plus de puissance.

Pendant les trois jours les plus voisins des pleines et nouvelles lunes, la marée, au lieu de prendre six heures pour arriver à sa plus grande hauteur, l'atteint dans quelques minutes; mais ce n'est pas sans être accompagnée d'accidents qui méritent d'être signalés. On entend au loin, à la distance d'une ou deux lieues, un grand bruit qui annonce l'approche du *pororoca*, nom que les Indiens donnent à cette lame impétueuse. A mesure qu'il ap-

[1] Voir l'ouvrage de M. Bouniceau, *Études sur la navigation des rivières à marées*, 1845, p. 106-107.

proche, le bruit augmente, et l'on aperçoit alors une vague énorme de 12 à 15 pieds de hauteur, puis une deuxième, puis une troisième, puis quelquefois une quatrième qui se suivent sans interruption et qui barrent toute la largeur du chenal. Cette vague s'avance avec une prodigieuse rapidité, renversant tout ce qu'elle rencontre. Lacondamine l'a vue quelquefois renverser des masses considérables de terre et des arbres fort élevés. Partout où elle passe, le rivage est lavé comme si on l'eût nettoyé avec soin; les barques des Indiens et les vaisseaux eux-mêmes n'ont d'autre moyen de se soustraire à la fureur de ce mascaret que de s'amarrer dans de grandes profondeurs. Lacondamine, sans entrer dans de grands détails sur le mascaret, dit l'avoir observé en plusieurs lieux et avoir reconnu qu'il est accompagné de fâcheux effets seulement lorsque, renfermé dans un étroit chenal, il rencontre sur son passage un banc de sable ou un exhaussement du lit qui lui présente obstacle, et jamais dans d'autres circonstances, et qu'il cesse aussitôt après ce banc, quand le chenal s'approfondit ou s'élargit considérablement.

D'après de la Bêche, le mascaret du même fleuve occupe toute sa largeur, et dans sa marche il entraîne tout ce qu'il rencontre jusqu'à ce qu'il ait dépassé les hauts-fonds et soit arrivé dans une eau plus profonde et plus large, où il disparaît.

Mascaret de la Seine.

73. C'est sur la Seine que le mascaret a été le mieux étudié; presque tous les ingénieurs qui ont été successivement chargés de cet important service en ont fait le sujet d'observations suivies. Par suite des grands travaux d'endiguement exécutés dans la partie inférieure du fleuve depuis 1850, les circonstances dans lesquelles le mascaret se produisait ont notablement changé sur plusieurs points.

Les renseignements suivants, dus à M. l'inspecteur général Robin, donnent une idée fort exacte de l'état des choses vers 1826.

L'heure de la barre (mascaret) est celle du commencement de la marée : elle annonce le flot et ne le précède que de quelques instants. La barre naît, dans quelques grandes marées, à la hauteur de Fiquefleur, c'est-à-dire à 5 kilomètres environ d'Honfleur

et à 12 kilomètres de l'entrée de la baie, mais elle n'est bien caractérisée qu'à partir de la pointe de Berville, à 5 kilomètres plus loin vers l'amont; c'est entre Vieux-Port et Vatteville qu'elle est habituellement le plus marquée.

La vitesse de propagation de la barre n'est autre que celle du flot, c'est-à-dire de la marée montante. Elle varie d'un lieu à l'autre et dans un même lieu avec l'état de la rivière, les phases de la lune, la direction et la force du vent. Plus la pente de la rivière est faible, plus le chenal est libre de bancs et de sinuosités, plus la vitesse de propagation de la barre est grande : elle est moyennement de 2 mètres par seconde entre la Roque et Quillebeuf, de 4 mètres entre Quillebeuf et le Vieux-Port, elle s'élève à 8 ou 9 mètres entre Yainville et Rouen. Cet énorme accroissement de vitesse tient à la faiblesse de la pente du fleuve dans cet intervalle et à la profondeur du chenal, qui n'oppose presque plus d'obstacles.

Quand il existe plusieurs chenaux, c'est-à-dire plusieurs canaux que suit le courant d'ebe, une barre particulière se produit dans chacun d'eux; ces barres multiples n'atteignent pas en même temps le point de réunion des chenaux; elles arrivent d'autant plus vite qu'elles ont à parcourir un lit moins obstrué et plus profond.

La barre ne se produit que dans les syzygies, elle est insensible dans les mortes eaux, quelquefois même à cette époque l'eau commence à s'élever à la marée montante, sans cesser de couler vers l'aval. Les grandes marées de l'équinoxe du printemps produisent des barres beaucoup moins fortes que celles de l'équinoxe d'automne; cette circonstance s'explique en remarquant qu'au mois de septembre la Seine est ordinairement voisine de l'étiage, tandis qu'en mars elle est presque toujours en crue.

La barre déferle plus ou moins, soit sur toute la largeur du chenal, soit, ce qui arrive beaucoup plus souvent, sur les plans inclinés qui en forment les rives ainsi que sur les hauts-fonds qui peuvent exister dans son lit. Quand elle déferle sur toute la largeur du chenal, elle offre un spectacle véritablement imposant : elle s'annonce par un bruit *sui generis* plus continu que celui des

lames qui se brisent sur le bord de la mer. Sa direction presque perpendiculaire au cours du fleuve peut la faire comparer à un barrage liquide et lui a probablement valu son nom. Les ailes ou extrémités de la barre qui courent sur les rives précèdent le reste de l'ondulation tout en s'y reliant par une courbe continue, de sorte qu'en plan la barre n'est pas précisément une ligne droite, mais un arc dont la convexité est tournée du côté de la mer.

Le passage des fortes barres est suivi d'une grande agitation qui secoue très-vivement les embarcations et les autres corps flottants sans leur imprimer une vitesse de translation sensible. Cette partie du fleuve, déjà très-surélevée, est labourée par des vagues multipliées, hautes et courtes, qui n'affectent aucun parallélisme; puis cette espèce de tempête se calme, et, au bout d'une minute au plus, un courant très-rapide s'établit vers l'amont. Quand la barre est faible, cette période d'agitation se réduit à fort peu de chose.

74. Tout récemment, M. l'ingénieur Partiot vient de publier[1] sur le mascaret de la Seine une étude complète qui, indépendamment des caractères généraux exposés précédemment, renferme, en outre, des expériences très-intéressantes. Nous reviendrons plus loin sur ce travail et nous ne lui emprunterons, quant à présent, que la description du phénomène.

« Lorsqu'on examine l'arrivée du flot un jour de syzygie du « sommet de l'un des promontoires élevés qui dominent l'embou- « chure de la Seine, on voit qu'un simple changement dans le sens « des courants indique que la mer monte au milieu des passes « profondes qui existent entre les bancs. Sur les bords de ces « passes on aperçoit comme un gonflement subit ou une vague « dont une extrémité parcourt, en déferlant, la rive, et qui se pro- « longe, mais sans briser, vers le milieu de la passe; on peut « même remarquer, à la forme de la limite des eaux sur le banc, « qu'une élévation de niveau suit immédiatement son passage. Cette « vague n'est autre chose que le mascaret. Dans les endroits où il « y a peu de profondeur, il s'avance comme une ligne blanche en

[1] *Annales des ponts et chaussées*, 1861, 1er semestre.

« travers de l'eau : cette ligne est une lame qui déferle et qui « blanchit d'écume; elle est suivie de plusieurs vagues dont les « premières sont souvent les seules écumantes et qui diminuent « successivement de hauteur. Les vagues qui viennent immédiate- « ment après le mascaret sont connues sur la Seine sous le nom « d'*éteules*.....

« On voit souvent venir un premier mascaret qui couvre un « banc d'une couche d'eau; puis le flot arrivant en même temps « d'un autre côté et dans un autre sens, il s'en forme un second « qui coupe le premier et qui l'enveloppe en donnant ainsi nais- « sance à une figure en forme d'Y. On remarque que dans la par- « tie où le second mascaret roule sur le banc, il a souvent une hau- « teur plus grande que dans l'espace où le premier a déjà passé..... « Quand le mascaret se brise contre un banc ou contre une côte, il se « réfléchit en formant une ondulation dont le sens est déterminé « par la position de l'obstacle : cette ondulation, qu'il faut bien se « garder de confondre avec le mascaret lui-même, se propage sur « les eaux de marée, et quelquefois dans une direction précisé- « ment inverse de celle par laquelle elles arrivent. Pour mieux faire « connaître le mascaret et l'aspect général sous lequel il se pré- « sente dans la baie de Seine, nous croyons qu'il est utile de citer « les observations suivantes, que nous avons faites à Saint-Jacques, « entre les caps de Tancarville et du Hode..... Le 6 mai 1856, « surlendemain du jour de la nouvelle lune, nous nous sommes « rendu à Saint-Jacques. Le coefficient de la marée était 1,00. Il « n'y avait que $0^m,35$ de profondeur dans la passe que traversaient « les eaux de la Seine en aval du Hode. De tous les côtés les « bancs avaient une hauteur assez grande pour présenter un obs- « tacle à la marée et pour augmenter le mascaret. Les vents d'a- « mont avaient soufflé toute la nuit et retardèrent de près d'une « heure l'arrivée du flot. A 8^h 20^m la mer descendait encore; on « distinguait alors au loin le mascaret se formant dans toute la « partie sud de la baie. Le flot y trouvant des bancs moins élevés « pénétra d'abord par le sud, et après avoir couvert une partie de

« cette portion de la baie de Seine, commença à arriver vers le « nord. On pouvait voir au loin une vague continue qui s'avançait « vers Saint-Jacques et qui barrait tout l'horizon depuis Fiquefleur « jusqu'à Conteville..... Ce long mascaret était produit par le dé- « versement des eaux qui s'avançaient en venant du sud. On n'aper- « cevait pas encore le flot qui arrivait aussi par le Hode. Les eaux « du sud vinrent prendre la côte du nord en écharpe et se précipi- « tèrent avec force sur la grève. On voyait alors un mascaret d'une « grande étendue s'appuyant sur la côte nord et remontant avec « fracas vers Saint-Jacques; il y arriva à $8^h\ 29^m$..... Une échelle « métrique, fixée à un pieu et soutenue par des cordages, avait été « disposée à l'avance près de la rive pour mesurer la hauteur du « mascaret et observer le mouvement de l'eau avant et après son « passage. La mer n'avait pas varié sensiblement de niveau depuis « dix minutes, et les courants avaient continué à se diriger vers « l'aval. Aucun gonflement n'avait précédé l'arrivée du flot; la pre- « mière vague formant le mascaret avait $2^m,18$ de hauteur; elle était « suivie de cinq ou six éteules entre le sommet desquelles il pou- « vait y avoir de $1^m,50$ à 2 mètres de creux. Il serait impossible de « préciser la hauteur moyenne de l'eau au milieu de ces vagues; « mais après leur passage la surface de la mer est devenue assez « tranquille, et à $8^h\ 31^m\ 15^s$, c'est-à-dire 2 minutes 15 secondes « après l'arrivée du mascaret, son niveau était à $1^m,68$ au-dessus de « celui de la mer basse. On a observé qu'une forte ondulation se « produisait par la réflexion du choc des eaux contre la côte et cou- « pait près de la rive la ligne du mascaret en se propageant sur la « tranche d'eau que la marée venait d'apporter. Cette ondulation « rappelait la forme du mascaret dans les endroits où il y a une « profondeur de 2 à 3 mètres d'eau; elle avait beaucoup moins « de hauteur que les éteules que nous venions d'observer. A 8^h38^m, « de nouvelles ondulations de $0^m,40$ de hauteur se sont produites; « elles provenaient sans doute du choc de l'eau contre quelque « obstacle. Peu de temps après, le flot est arrivé par la partie « nord de la baie de Seine et a donné naissance à une ligne d'ondes

« qui avaient environ $0^m,40$ de hauteur le long de la côte. Au « dire des marins, on voit ainsi jusqu'à quatre lignes de mascarets « à la fois se propageant dans différents sens et dont l'une irait « même quelquefois en sens inverse de la direction du flot; cette « dernière ne peut être que le résultat de la réflexion du flot « contre un obstacle. »

Nous avons nous-mêmes observé le mascaret de la Seine près de Caudebec le 6 octobre 1861 : la première onde avait de 2 mètres à $2^m,50$ de hauteur; elle déferlait avec violence sur l'une des rives; derrière elle venaient cinq ou six éteules un peu moins élevées. Nous avons pu reconnaître que les expériences en petit rapportées plus haut reproduisaient avec une fidélité remarquable l'aspect général du phénomène; l'onde initiale et les ondes secondaires qui la suivaient dans ces expériences rappelaient parfaitement la figure du mascaret et des éteules.

Mascaret dans les petites rivières.

75. Les détails que nous venons de donner font suffisamment connaître les circonstances dans lesquelles se produit le mascaret. Ce phénomène n'est pas, du reste, particulier aux grandes rivières; il se produit sur une échelle moins grande dans les cours d'eau de peu d'importance. « Nous avons constaté sa présence, dit M. l'in- « génieur en chef Bouniceau[1], d'une manière très-nette dans la « rivière de Vire et dans la rivière plus petite encore de l'Aure, « et nous avons observé que, toutes les fois que ce faible mascaret « arrivait à un endroit profond, il disparaissait à l'instant pour « reparaître plus loin dans les endroits de peu de profondeur. Nous « avons pu faire ces observations d'une manière plus particulière « encore dans un nouveau lit ouvert à la Vire au moyen de cou- « rants. Le flot formait, en arrivant, barre ou mascaret partout « où le fond du canal se relevait, et il disparaissait partout où il « se déprimait. »

Caractères généraux du mascaret.

76. Résumons les caractères généraux du phénomène tels qu'ils résultent des descriptions précédentes.

Le mascaret est produit par l'arrivée du flot, dont il forme en

[1] *Études sur la navigation des rivières à marées*, 1845, p. 108.

quelque sorte la tête. Partout où la profondeur de l'eau est faible il apparaît sous la forme d'une lame qui déferle d'une manière continue; dès qu'il rencontre une eau profonde, il disparaît, ou du moins se transforme subitement en une onde allongée qui cesse de déferler et ne présente plus de dangers pour la navigation. Sa vitesse de propagation augmente avec la profondeur de l'eau sur laquelle il chemine.

Lorsque, par l'effet d'une disposition locale, deux mascarets, arrivant suivant des directions différentes, viennent à se propager sur une même masse d'eau, ils se traversent et se superposent en continuant chacun leur marche d'une manière distincte.

Ces caractères ne sont autres que ceux de l'onde de translation qui a fait l'objet des expériences rapportées dans les chapitres précédents. Supposons pour un instant que le niveau de la mer à l'embouchure d'un fleuve se trouve instantanément élevé d'une certaine hauteur, 2 mètres par exemple. Les eaux de la mer se précipiteront dans le fleuve en produisant sur une grande échelle le phénomène étudié en petit dans le chapitre IV. L'onde qui formera la tête du flot déferlera partout où elle ne trouvera pas une profondeur suffisante pour son libre développement : si l'on désigne par h sa hauteur, par H la profondeur moyenne du fleuve et par U la vitesse du courant d'ebe, la vitesse V de cette onde sera $V=\sqrt{g(H+h)}-U$ lorsqu'il n'y aura pas déferlement, et un peu plus grande lorsque au contraire il y aura déferlement ou mascaret proprement dit. Cette vitesse augmentera avec la profondeur H; elle diminuera lorsque la vitesse U des courants descendants augmentera. L'onde, en un mot, présentera tous les caractères du mascaret.

77. Mais l'hypothèse d'un relèvement subit de la mer ne se réalise pas : le mouvement ascensionnel de la marée, bien que quelquefois fort rapide, est néanmoins continu; l'onde, ou plutôt l'ensemble des ondes auxquelles cet exhaussement graduel des eaux donne naissance, devrait donc toujours affecter une figure très-allongée se raccordant d'une manière insensible avec la surface

Mode de production du mascaret.

du fleuve. Comment se fait-il que, dans certains cas, une lame de grandeur finie puisse se former en tête du flot?

Brémontier, en parlant du mascaret de la Dordogne, après s'être posé cette objection toute naturelle, la résout par les considérations suivantes[1] :

« Il est de fait, dit-il, que la marée, dans la Gironde, depuis « Royan, met trois heures pour se rendre dans les environs de Li- « bourne et de Bordeaux, qu'elle a dû s'élever successivement, pen- « dant ce temps, par petites lames ou couches de 15 millimètres « réduits d'épaisseur par minute, et par conséquent de 3 mètres « ou 9 pieds sur les bords de la mer. Il est de fait encore que les « courants du descendant, suivant qu'ils sont plus ou moins rapides, « retardent plus ou moins la marche ou le développement de cette « première petite lame; que la deuxième qui la suit ayant moins « de difficultés à vaincre, doit acquérir plus de vitesse et parcourir « en moins de temps l'espace déjà parcouru par la première, avec « laquelle elle se trouvera nécessairement bientôt réunie; que, par « la même raison, chacune des lames qui suivent acquérant un « degré de vitesse de plus que celles qui les précèdent, elles « finissent toutes par se réunir au même point..... et que toutes « ces petites lames une fois réunies, abstraction faite de diverses « causes qui peuvent en déranger, en atténuer la marche ou l'ac- « célérer, doivent nécessairement former une grosse lame, et c'est « cette grosse lame à laquelle on a donné les divers noms de *flot*, « de *première vague*, de *barre* et de *mascaret*. »

78. L'opinion de Brémontier expliquant la formation du mascaret par la réunion des ondes successives produites à l'entrée du fleuve a été critiquée par le colonel Emy; elle est cependant parfaitement rationnelle, et nous verrons qu'en y appliquant les lois expérimentales que nous avons trouvées plus haut, elle supporte l'épreuve du calcul et rend bien compte du phénomène.

Une expérience bien simple, que nous avons renouvelée plusieurs fois, nous avait suggéré la même pensée en nous montrant

[1] *Recherches sur le mouvement des ondes*, 1809, page 71.

clairement la marche de ces petites ondes qui se suivent avec des vitesses de plus en plus grandes. Un courant régulier étant établi dans le canal d'expérience, on levait de $0^m,10$ la vanne qui servait à produire les ondes; l'eau qui s'en échappait donnait naissance à un mascaret remontant le courant. Au bout de quinze secondes, on levait de nouveau la vanne de $0^m,10$, de manière à porter son ouverture à $0^m,20$. Cette manœuvre donnait lieu à un nouveau mascaret qui cheminait à la suite du premier sur les eaux déjà exhaussées du courant. Après un nouvel espace de quinze secondes, on levait encore la vanne de $0^m,10$, et ainsi de suite. On obtenait de la sorte trois ou quatre mascarets distincts, se suivant avec des vitesses de plus en plus grandes. Le deuxième ne tardait pas à rejoindre le premier, dont la vitesse recevait alors un accroissement subit; le troisième et le quatrième venaient à leur tour se réunir à l'onde formant la tête du flot en lui imprimant à chaque fois une nouvelle accélération.

79. Essayons maintenant de faire comprendre par un exemple de calcul numérique comment les ondes élémentaires successives peuvent s'ajouter pour former une lame d'une certaine hauteur. Admettons, pour plus de simplicité, que le lit du fleuve forme, à partir de la mer, un canal régulier de 2 mètres de profondeur, et que les eaux de ce canal s'écoulent vers la mer avec une vitesse de 1 mètre par seconde; supposons, en outre, que la vitesse d'ascension de la marée soit de $2^m,40$ par heure, soit $0^m,20$ en cinq minutes. Afin de suivre la marche des ondes successives, on peut imaginer que le niveau de la mer s'exhausse brusquement par tranches de $0^m,20$ à intervalles égaux de cinq minutes.

La première tranche qui s'élève de $0^m,20$ au-dessus du niveau de la surface du canal donne naissance à une onde dont la vitesse de propagation est $\sqrt{g \times 2,20} - 1,00 = 3^m,64$. Derrière elle, c'est-à-dire dans tout l'espace sur lequel elle vient d'apporter une tranche d'eau de $0^m,20$, la vitesse d'écoulement du canal est déjà ralentie. Si l'on calcule cette vitesse U' en égalant le volume engendré par l'onde à la différence des débits d'amont et d'aval, on a $U' = 0^m,58$.

L'eau s'élève donc dans le canal sans cesser de couler vers l'aval, c'est-à-dire que le gonflement qui s'opère à sa surface est formé par les propres eaux du courant dans lequel celles de la mer ne pénètrent pas encore.

Au bout de cinq minutes, une deuxième onde s'engage dans le canal; elle se propage nécessairement plus vite que la première, car elle trouve la profondeur augmentée de $0^m,20$ et la vitesse d'écoulement vers l'aval réduite à $0^m,58$. La vitesse de cette deuxième onde sera donc $\sqrt{g \times 2,40} - 0,58 = 4^m,27$. Après son passage, la vitesse d'écoulement vers l'aval est encore diminuée; car si l'on fait, pour déterminer cette vitesse U'', le même calcul que plus haut, on obtient $U'' = 0^m,17$. Les eaux du canal continuent donc encore à couler vers l'aval, mais très-faiblement.

Après un nouvel intervalle de cinq minutes, une troisième onde se forme; sa vitesse est $\sqrt{g \times 2,60} - 0,17 = 4^m,88$. Derrière elle la surface du canal se trouve déjà exhaussée de $0^m,60$ et le courant commence à remonter vers l'amont; car on trouve pour la vitesse U''' une valeur négative. Dès lors, le gonflement est dû, non-seulement aux propres eaux du canal qui sont complétement arrêtées dans leur mouvement descendant, mais, en outre, aux eaux de la mer qui commencent à se porter vers l'amont en les refoulant devant elles.

On voit comment la vitesse de propagation des ondes va constamment en augmentant. Examinons maintenant à quelle distance doit s'opérer leur rencontre. Pendant les cinq minutes qui s'écoulent entre la production de la deuxième onde et celle de la première, celle-ci s'est déjà avancée dans le canal de 1,092 mètres; la deuxième la rejoindra trente-quatre minutes environ après le commencement de l'ascension de la marée; la rencontre aura lieu à 7,400 mètres de l'embouchure. A partir de ce moment, la tête du flot sera donc formée par une onde de $0^m,40$ de hauteur; sa vitesse, qui était de $3^m,64$ par seconde, deviendra

$$\sqrt{g \times 2,40} - 1,00$$

soit $3^m,85$; mais au moment où s'opère la réunion de la deuxième onde et de la première, la troisième ne se trouve plus qu'à 400 mètres en arrière; elle rejoindra à son tour, au bout de quelques minutes, la tête du flot, dont elle portera la hauteur à $0^m,60$ et la vitesse à $\sqrt{g \times 2,60} - 1,00$, soit $4^m,05$.

80. Le calcul approximatif que nous venons de faire n'a rien de rigoureux; la méthode par laquelle les vitesses à l'entrée du canal ont été déduites les unes des autres n'est pas à l'abri d'objections; elle finirait d'ailleurs par conduire à des vitesses exagérées, parce qu'elle fait abstraction de la résistance des parois du canal. Mais nous avons seulement cherché à faire comprendre comment la rencontre successive des ondes élémentaires peut, au bout de quelque temps, produire une lame de grandeur finie formant la tête du flot.

L'ascension de la marée dans un canal de longueur indéfinie doit donc donner naissance à une onde initiale dont la hauteur et la vitesse vont peu à peu en croissant. Elle apparaît à une distance plus ou moins grande de l'embouchure, suivant la vitesse d'ascension de la marée, la profondeur du canal, etc. Mais, dès qu'elle a commencé à se former, elle tend à s'accroître rapidement. Tant que cette onde trouve une profondeur suffisante pour se développer librement, elle conserve sa figure allongée et ne déferle pas; si elle rencontre un haut-fond, elle déferle et produit alors le mascaret proprement dit. La nature ne réalisant jamais l'hypothèse d'un canal régulier à partir de la mer, les circonstances locales peuvent faire varier le phénomène à l'infini. Lorsqu'une rivière présente, comme la Seine, une barre à son embouchure, cette circonstance favorise beaucoup la production du mascaret; les premières lames de la marée montante, retardées par l'insuffisance de la profondeur et par la résistance des bancs qui forment la barre, s'avancent lentement. Les ondes qui les suivent les rejoignent donc assez rapidement, et c'est sous l'influence d'une dénivellation déjà considérable que les eaux de la marée se précipitent dans le fleuve lorsqu'elles ont surmonté la résistance opposée par la barre de son embouchure.

Nous assimilerons donc la marche de l'onde de la marée dans un fleuve à celle des ondes de translation dont la vitesse de propagation est donnée par la formule $V = \sqrt{g(H+h)} - U$. Les observations que nous possédons ne se prêtent pas à une vérification rigoureuse de cette formule; il faudrait, en effet, connaître exactement, sur une assez grande longueur, la profondeur moyenne du fleuve et la vitesse moyenne du courant de jusant; néanmoins nous allons faire voir que la formule s'accorde avec les faits observés, aussi bien qu'on peut le désirer en pareille matière.

Expériences faites par M. Partiot sur le mascaret de la Seine, en 1856.

81. Le mémoire de M. Partiot renferme une représentation graphique complète de la marée du 18 août 1856. Nous devons à l'obligeance de M. l'inspecteur général Robin la communication d'un travail semblable, exécuté par M. Poirée pour la marée du 24 septembre 1826. L'état des eaux de la Seine était à peu près le même à ces deux époques et les deux phénomènes sont assez comparables.

La comparaison de ces deux documents conduit à quelques observations intéressantes et fait voir que les travaux d'endiguement exécutés sur la basse Seine ont exercé une influence notable sur la marche du flot. L'embouchure de ce fleuve forme une baie d'environ 35 kilomètres de profondeur : sa largeur atteint 9 kilomètres en face de Honfleur (à 10 kilomètres de la mer) et va ensuite en diminuant progressivement jusqu'à Quillebeuf, où se termine la baie proprement dite. Presque tout cet espace est couvert de bancs changeants, au milieu desquels la Seine coule à mer basse dans des chenaux sinueux et mobiles. En amont de Quillebeuf commence la partie fluviale : avant les travaux d'endiguement, on y rencontrait jusqu'à Villequier, et même jusqu'à la Mailleraie, des bancs changeants, connus sous le nom de *traverses* de Quillebeuf, du Flac, de Villequier, etc. Dans toute cette partie du fleuve le lit était fort large et très-irrégulier. En amont de la Mailleraie, au contraire, il était comme aujourd'hui régulier et profond jusqu'à Rouen. Cet état de choses a été complétement modifié par les travaux d'endiguement. Le fleuve est

maintenant compris entre deux digues parallèles qui s'étendent depuis la Mailleraie jusqu'à la Roque, et atteindront bientôt la pointe de Berville : les vastes espaces sur lesquels les eaux s'étendaient à marée haute en dehors des digues se sont rapidement comblés, tandis qu'un chenal profond se creusait entre les digues.

Comparons maintenant les vitesses de propagation de la marée en 1826 et 1856 dans les trois parties suivantes du fleuve, savoir :

1° Du cap du Hode à Quillebeuf (le cap du Hode est à 20 kilomètres de l'embouchure et en face de la pointe de Berville située sur la rive gauche).

2° De Quillebeuf à Villequier;

3° De Villequier à Rouen.

DÉSIGNATION DES PARTIES DU FLEUVE.	DISTANCES.	VITESSE DE PROPAGATION DU FLOT.	
		MARÉE du 24 septembre 1826.	MARÉE du 18 août 1856.
	kilom.	mèt.	mèt.
Du cap du Hode à Quillebeuf.....	19	2,96	5,06
De Quillebeuf à Villequier.....	19	3,88	6,51
De Villequier à Rouen.....	72	7,27	7,44

A la première inspection de ce tableau, on voit que la marche du flot est plus rapide en 1856 qu'en 1826. La différence porte entièrement sur la partie comprise entre le cap du Hode et Villequier, pour laquelle la durée de la propagation du flot est diminuée de plus d'une heure. Cet accroissement considérable de vitesse est le résultat des travaux d'endiguement qui ont beaucoup augmenté la profondeur de la rivière.

En effet, les profondeurs moyennes dans chaque portion du cours de la Seine calculées approximativement, à l'aide des profils levés en 1826 et 1860, sont :

DÉSIGNATION DES PARTIES DU FLEUVE.	PROFONDEUR MOYENNE DU THALWEG	
	en 1826.	en 1860.
	mèt.	mèt.
Du cap du Hode à Quillebeuf.....	1,80	5,40
De Quillebeuf à Villequier.....	3,70	6,70
De Villequier à Rouen.....	6,80	7,70

L'augmentation de profondeur a donc eu partout pour résultat un accroissement correspondant de la vitesse du flot.

82. Ces profondeurs ne peuvent servir à calculer la vitesse de l'onde parce qu'elles sont mesurées dans le thalweg : elles sont supérieures aux profondeurs moyennes prises dans toute l'étendue de la section, et leur introduction dans la formule conduirait par conséquent à des vitesses trop grandes; en outre, les profondeurs mesurées en 1860 peuvent différer de celles qui existaient en août 1856. Mais nous trouvons dans le travail de M. Partiot un exemple qui se prête mieux à cette vérification.

Le 5 mai 1856, lendemain de syzygie, la hauteur et la vitesse du mascaret ont été mesurées en face du Vieux-Port. La vitesse était de $5^m,36$ par seconde. Sur la rive, il déferlait avec violence, mais dans la plus grande partie de la rivière il se propageait sous forme d'ondulations d'environ $0^m,40$ de hauteur; la profondeur moyenne est de $3^m,30$; la vitesse du jusant étant désignée par U, la formule donne donc :

$$V=\sqrt{3,70\times g}-U=6^m,02-U$$

La vitesse U n'a pas été mesurée ; mais elle a été évaluée par

aperçu à $0^m,40$ par seconde, d'où $V = 5^m,62$, résultat peu éloigné de la vitesse expérimentale $5^m,36$. D'ailleurs cette dernière a été obtenue en mesurant le temps employé par l'onde à parcourir un espace de 1,530 mètres, et rien ne prouve que le profil transversal du cours d'eau fût bien constant dans cet intervalle.

Si l'on applique la formule à la partie du cours de la Seine comprise entre Villequier et Rouen, où la profondeur, suivant le thalweg, est $7^m,70$, il est permis de négliger la hauteur de l'onde et la vitesse du jusant. A cause de la grande profondeur du fleuve, les deux erreurs que l'on commet sont de signes contraires et se compensent presque. La formule ainsi réduite à $V = \sqrt{gH}$ donne pour la vitesse calculée $8^m,69$. La valeur expérimentale est de $7^m,44$, chiffre un peu moindre, ainsi que l'on pouvait s'y attendre, puisque l'on a fait entrer dans le calcul la profondeur maxima au lieu de la profondeur moyenne.

Ces comparaisons, les seules qu'il soit possible de faire en l'absence de données suffisamment précises, démontrent néanmoins que la vitesse du flot est donnée avec une approximation suffisante par la formule.

83. Nous conclurons de tout ce qui précède que la formule $V = \sqrt{g(H+h)} - U$ peut rendre compte des différentes particularités que présente la propagation de la marée dans les fleuves. La vitesse V augmente avec la profondeur H, elle diminue lorsque la vitesse U des courants descendants augmente. Si l'on a : $hV < HU$, c'est-à-dire si le volume engendré par l'onde est inférieur au volume d'eau fourni par le courant descendant, l'eau après le passage de l'onde peut continuer à se porter encore vers l'aval. Cette condition sera remplie d'autant plus facilement que H et U seront plus grands. Elle se réalise dans certaines parties de la Seine, où la marée monte pendant quelque temps avant que le sens des courants ne change. Il en est presque toujours ainsi sur le fleuve Saint-Laurent, ce qui s'explique facilement en remarquant que ce fleuve, alimenté par les grands lacs de l'Amé-

Explication des diverses particularités que présente le mascaret.

rique septentrionale, conserve constamment un volume d'eau considérable.

Lorsque l'on a $hV > HU$, le passage de l'onde est immédiatement suivi d'un changement dans le sens du courant. Ce changement de sens est d'autant plus marqué que la profondeur H est plus petite.

La condition nécessaire pour qu'il y ait déferlement, c'est-à-dire mascaret proprement dit, est représentée par l'inégalité

$$U + U' > \sqrt{2gH}$$

(Voir chap. IV.) Si l'on désigne par Q le volume des eaux apportées par la marée en une seconde et par ω la section du fleuve, la vitesse auxiliaire $U' = \frac{Q}{\omega}$ est ici le quotient du volume affluent Q par la section ω. Le déferlement aura donc lieu d'autant plus facilement que la profondeur H du fleuve sera plus petite et que la vitesse U sera plus grande. Cette dernière remarque explique comment le mascaret se produit quelquefois dans des points où il existe une assez grande profondeur, mais où la vitesse des courants d'ebe est considérable.

84. On a remarqué quelquefois qu'au moment de l'arrivée du mascaret le changement de sens des courants s'opère plus tôt au fond du fleuve qu'à la surface et près des rives qu'au milieu du lit. Le mémoire de M. Partiot contient à ce sujet plusieurs observations intéressantes. « On remarque généralement que le « flot se fait sentir plus tôt sur les bords que dans la ligne du « thalweg, de telle sorte que les courants montent déjà sur les « rives quand ils descendent encore au milieu du fleuve. Le « 27 août 1855, il s'est écoulé huit minutes à Villequier avant « que le courant ascendant ne se soit établi partout... Le 13 sep- « tembre 1855, surlendemain de syzygie, on a mis deux flotteurs « dans la Seine, en face de la chapelle de Barre-y-va, un peu en « aval de Caudebec. Ils étaient disposés de manière à donner les « mouvements de l'eau, l'un vers le fond, à $3^m,30$ de la surface et « l'autre à la surface même du fleuve... Les deux flotteurs ont

« descendu la rivière ensemble. Le mascaret s'est produit sous la « forme d'une ondulation. A l'arrivée de cette onde, le flotteur du « fond s'est arrêté, et, après 1 minute 30 secondes, a pris un mou- « vement ascensionnel vers l'amont. L'autre a continué sa marche « vers l'aval ou est resté à peu près stationnaire pendant 2 minutes « 10 secondes, de telle sorte que le flotteur du fond a commencé « à remonter quarante secondes avant celui de la surface. Ces « expériences ont été renouvelées le 25 septembre 1855, jour « de syzygie, en face du vallon de Caudebecquet. Trois flotteurs « indiquaient la vitesse à la surface, au fond et à $1^m,50$ au-dessous « du niveau de l'eau... Au moment de l'arrivée du flot, qui se « produisit encore sous la forme d'une onde, ils étaient tous trois « au milieu de la Seine. Les deux flotteurs inférieurs ne com- « mencèrent à remonter vers l'amont qu'une minute après le pas- « sage de la vague du flot. Le flotteur de superficie ne prit une « marche pareille que 2 minutes 15 secondes plus tard. L'ondula- « tion qui précédait le flot formait un arc de cercle concave vers « l'amont, et dont les deux extrémités sont arrivées sur un même « profil perpendiculaire à l'axe de la Seine, sept à huit secondes « plus tôt que le milieu de l'arc. » La raison de ces faits est facile à donner. D'après les expériences de J. Russell, le passage de l'onde de translation a pour effet d'imprimer à toutes les molécules fluides qui se trouvent dans la section transversale des vitesses horizontales à peu près égales : soit u cette vitesse commune. Une molécule fluide qui descendait vers la mer avec une vitesse v se trouve donc reportée vers l'amont au moment du passage de l'onde avec une vitesse $u - v$. Si les circonstances du phénomène sont telles que u, tout en restant inférieur à la vitesse à la surface, soit cependant plus grand que la vitesse de fond, on conçoit que la différence $u - v$ puisse être négative pour les couches supérieures du courant et positive pour les couches profondes; en d'autres termes, le courant se dirige vers l'amont dans le fond du fleuve quelques instants avant qu'un semblable changement s'opère à la surface.

Pour un semblable motif, le courant de flot s'établit plus tôt sur les rives qu'au milieu du fleuve, ainsi que l'ont constaté tous les observateurs.

85. Le mascaret, auquel on a assigné tant de causes diverses, nous paraît donc s'expliquer fort simplement par la réunion successive des ondes de la marée; c'est l'opinion émise par Brémontier et reproduite nouvellement par M. Babinet. Cette réunion s'opérerait même dans un canal de profondeur uniforme, pourvu que sa longueur fût assez grande. Les obstacles qui s'opposent à la propagation de la marée à l'entrée des fleuves dont l'embouchure est fermée par une barre favorisent puissamment l'accumulation des ondes élémentaires, et la tête du flot, lorsqu'il s'engage dans les parties plus profondes du fleuve, est déjà formée par une onde d'une assez grande hauteur. Cette onde déferle partout où elle ne trouve pas une profondeur suffisante pour son libre développement en produisant alors le mascaret proprement dit. L'unique moyen de le faire disparaître est donc la suppression de tous les obstacles qui peuvent entraver la marche du flot, c'est-à-dire la création d'un chenal profond jusqu'à la mer. Mais il ne faudrait pas en conclure qu'un approfondissement quelconque du chenal ait toujours pour effet de diminuer l'intensité du mascaret; il peut se faire, au contraire, que, dans certains cas, un approfondissement partiel produise un résultat tout opposé. C'est ce qui paraît avoir eu lieu sur la Seine, où le mascaret se manifeste avec plus de violence depuis l'exécution des travaux d'endiguement.

Cette recrudescence peut, jusqu'à un certain point, s'expliquer par les modifications apportées au régime du fleuve, et surtout par le déplacement et l'abaissement de la barre. Cette barre était autrefois formée par l'ensemble des bancs dits *traverses* de Quillebeuf, du Flac, de Villequier, etc. Sur les bancs de Quillebeuf et du Flac, le fond du chenal était à plus de $2^m,50$ au-dessus du niveau des basses mers, et sur la traverse de Villequier, point culminant de la barre, à plus de 4 mètres. Aujourd'hui les bancs du Flac et de Villequier ont fait place à un chenal profond, et

ce sont les hauts-fonds compris entre Honfleur et Quillebeuf, élevés seulement de 1 à 2 mètres au-dessus des basses mers, qui constituent, à proprement parler, la barre; elle s'est donc abaissée de plus de 2 mètres en se rapprochant de la mer. Cet abaissement a pu favoriser la production du mascaret. Lorsqu'un fleuve présente une barre très-marquée à quelque distance de son embouchure, cette barre forme, à marée basse, une sorte de rapide sur lequel les eaux s'écoulent vers la mer avec peu de profondeur, tandis qu'en amont les eaux du fleuve qu'elle retient forment un vaste bassin à faible pente. Lorsque la marée s'engage dans l'embouchure, elle ne rencontre d'abord que des hauts-fonds sur lesquels l'absence de profondeur empêche sa libre propagation, et le mascaret ne tarde pas à paraître en tête du flot. Toutefois, si la barre est très-élevée, elle peut s'opposer presque entièrement à la transmission de l'onde dans la partie supérieure du fleuve où les oscillations de la marée seront peu sensibles. Supposons maintenant qu'on l'abaisse graduellement et examinons comment le phénomène se modifiera peu à peu. Tant qu'elle ne sera pas descendue au-dessous du niveau des basses mers, elle ne sera recouverte, au moment de l'arrivée du flot, que d'une faible couche d'eau, et opposera toujours à sa marche une forte résistance. Le mascaret se produira encore, et même la dénivellation entre les eaux du large et celles du fleuve ayant augmenté et la marée s'y précipitant par suite avec plus de violence, il pourra devenir plus redoutable que par le passé : la pente superficielle et l'amplitude des oscillations augmenteront également en amont de la barre : mais un nouvel abaissement qui la ferait descendre à quelques mètres au-dessous des basses mers modifierait complètement le phénomène. L'onde de la marée trouvant en effet une profondeur suffisante pour s'y développer librement, le mascaret disparaîtrait définitivement, malgré l'accroissement d'amplitude de la marée.

Entre les deux hypothèses extrêmes d'une barre assez élevée pour s'opposer à la transmission de la marée en amont, et d'un

chenal parfaitement dégagé d'obstacles, doit donc se placer un état intermédiaire auquel corresponde le maximum d'intensité du mascaret, et ce phénomène, que la destruction complète de la barre eût fait disparaître, pourra, au contraire, redoubler de violence à la suite d'un abaissement incomplet qui laisse encore la barre à un niveau supérieur à celui des basses mers.

FIN.

TABLE DES MATIÈRES.

RECHERCHES EXPÉRIMENTALES SUR LA PROPAGATION DES ONDES.

Pages.

Rapport à l'Académie des sciences..... III
Avant-propos..... XV
INTRODUCTION..... 1

CHAPITRE PREMIER.

EXPÉRIENCES SUR LA VITESSE DE PROPAGATION DES ONDES.

Expériences de J. Scott Russell..... 9
Vitesse de l'onde..... 11
Ondes négatives..... *Id.*
Phénomènes secondaires qui accompagnent souvent l'onde de translation..... 12
Expériences nouvelles en 1859..... *Id.*
Ondes positives se propageant dans une eau tranquille. — Procédés d'expérimentation et tableaux d'expériences 13
Comparaison des vitesses observées et des vitesses calculées..... 22
Altération progressive de l'onde à mesure que la profondeur diminue. — Déferlement. 23
Ondes négatives se propageant dans une eau tranquille..... 25
Caractères particuliers de l'onde négative..... 28
Expériences faites dans le canal de Bourgogne..... *Id.*
Périodicité du retour des ondes réfléchies..... 31
Ondes positives se propageant en sens contraire du courant..... 35
Ondes négatives se propageant en sens contraire du courant..... 37
Ondes positives se propageant dans le sens du courant..... 38
Ondes négatives se propageant dans le sens du courant..... 40
Résumé des propriétés fondamentales de l'onde de translation..... 41

CHAPITRE II.

EXPÉRIENCES SUR LA PROPAGATION DES REMOUS DANS UNE EAU EN REPOS.

Ondes d'une longueur indéfinie produites par un courant continu. Expériences..... 42
Caractères principaux du phénomène..... 48
Condition du déferlement..... 55
Calcul de la vitesse de propagation..... 56

CHAPITRE III.

EXPÉRIENCES SUR LA PROPAGATION DU REMOUS DANS UN CANAL DONT ON ARRÊTE L'ÉCOULEMENT.

Pages.
Expériences de Bidone 60
Expériences nouvelles en 1856 65
Calcul de la vitesse de propagation 75
Application de la formule nouvelle aux expériences de Bidone 79
Expérience faite en n'arrêtant que partiellement l'écoulement 81
Expériences de 1859 dans un canal incliné 82
Condition du déferlement 87
Figure concave du remous ..... *Id.*
Calcul de la vitesse de propagation 89
Expériences sur les rigoles du canal de Bourgogne en 1859 91
Profils instantanés de la surface du courant 97

CHAPITRE IV.

EXPÉRIENCES SUR LA PROPAGATION DU REMOUS DANS UN COURANT DONT LES EAUX SONT REFOULÉES PAR CELLES D'UN AUTRE COURANT.

Dispositions générales adoptées pour les expériences 98
Caractères principaux du phénomène 100
Expériences de 1857 102
Expériences de 1859 115
Calcul de la vitesse de propagation 122
Condition du déferlement 128

CHAPITRE V.

CONSIDÉRATIONS SUR LE MASCARET ET SUR LA PROPAGATION DE LA MARÉE DANS LES FLEUVES.

Mascaret du Gange, du fleuve des Amazones, etc. 129
——— de la Seine 131
——— dans les petites rivières 136
Caractères généraux du mascaret ..... *Id.*
Mode de production du mascaret 137
Expériences faites par M. Partiot sur la Seine, en 1856 142
Explications de diverses particularités que présente le mascaret 145

89090522475
b89090522475a